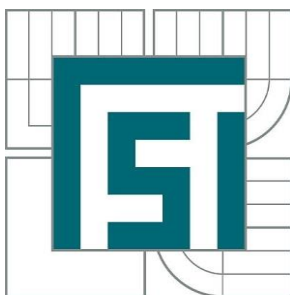


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

REKONSTRUKCE STANICE PRO TESTOVÁNÍ PŘEVODOVEK

RECONSTRUCTION OF GEARBOX TESTING RIG

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ ROZSYPÁLEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MILAN KLAPKA, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Tomáš Rozsypálek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Konstrukční inženýrství (2301T037)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Rekonstrukce stanice pro testování převodovek

v anglickém jazyce:

Reconstruction of Gearbox Testing Rig

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh rekonstrukce ovládací části stanice pro zkoušení automobilových převodovek s těmito parametry: zpracování řídicího software v programu LabView, regulační algoritmus pro elektromotor a brzdu se zpětnovazební smyčkou a rychlostí regulace max. 100 Hz, rozsah řídicích napětí 10 V, možnost ručního ovládání.

Cíle diplomové práce:

Diplomové práce musí obsahovat (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci):

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Varianty konstrukčního řešení
5. Optimální konstrukční řešení
6. Diskuse
7. Závěr
8. Bibliografie

Forma diplomové práce: výkresy součástí, výkres sestavení, 3D digitální data (model), 2D digitální data (výkresy), software

Typ práce: konstrukční

Účel práce: pro V-V a tvůrčí činnost ÚK

Výstup práce: software (R)

Seznam odborné literatury:

- 1) SHMID, D. a kol. Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku. Europa-Sobotáles.cz. s.r.o. 2005. 420 s. 1. Vyd. ISBN 80-86706-10-9
- 2) VLACH, J. HAVLÍČEK, J. VLACH, M. Začínáme s LabVIEW. Ben – technická literatura 2008. 248 s. ISBN 978-80-7300-245-9
- 3) Internetové zdroje na www.ni.com/examples

Vedoucí diplomové práce: Ing. Milan Klapka, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 19.11.2012

L.S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je rekonstruovat stanici pro testování převodovek tak, aby bylo po její modernizaci umožněno provádět plně automatické zkoušky dlouhodobého charakteru dle předem definovaných testovacích parametrů. První část práce se věnuje rozboru řešení používaných jak komerčně, tak na vědecké úrovni. Řešení jsou pak zkoumána a následně hodnocena pro použitelnost na modernizované stanici. Druhá část je věnována výběru nakupovaných komponent, které umožní použití automatického řízení, konstrukčním návrhům jejich umístění do řídicího panelu, výběru vhodné varianty konstrukčního řešení, sestavení řídicího panelu a kalibraci jeho komponent. Tato část se také věnuje rozboru softwarového řešení, vytvořeného pro automatické řízení stanice. Výstupem práce je funkční vzorek řídicího hardwaru a software pro automatické i manuální řízení, včetně záznamu měřených veličin.

Klíčová slova: Stanice pro testování převodovek, rekonstrukce, zpětnovazební automatické řízení

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is reconstruction of gearbox testing rig. Modernization will allow fully automatic long-term gearbox tests according to pre-defined test parameters. The first part of thesis describes commercial and scientific solutions of used testing rigs. Individual solutions are inspected and evaluated for applicability to upgrade the testing rig. The second part of diploma thesis deals with selection of purchased components for allowing automatic drive, design concepts, selection of appropriate design, assembly and installation of control board and calibration of used components. This part of diploma thesis deals with analysing of software solution made for automatic drive too. The output of this work is a functional sample of control hardware and software for automatic and manual control which contains recording of measured data.

Key words: Gearbox testing rig, reconstruction, automatic feedback control

Bibliografická citace:

ROZSYPÁLEK, T. *Rekonstrukce stanice pro testování převodovek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 89 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Milan Klapka, Ph.D

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma *Rekonstrukce stanice pro testování převodovek* jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Milana Klapky, Ph.D a za použití pramenů, které jsem uvedl v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 17. května 2013

.....
Bc. Tomáš Rozsypálek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval Ing. Milanu Klapkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracovávání diplomové práce a Ing. Zbyňku Streckerovi za elektro-kontrolu sestaveného řídicího hardware.

OBSAH

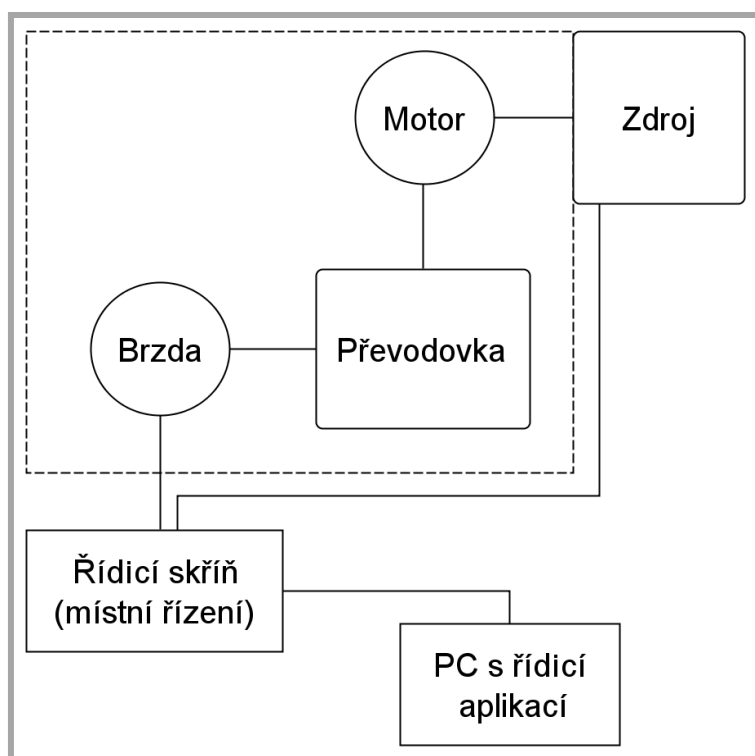
1 ÚVOD	13
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	15
2.1 Stanice pro testování převodovek na Ústavu konstruování na VUT v Brně	15
2.2 Testovací stanice na univerzitách v ČR	16
2.2.1 České vysoké učení technické v Praze	16
2.2.2 Univerzita Pardubice	17
2.2.3 Technická univerzita v Liberci	18
2.2.4 Vysoká škola báňská	18
2.3 Komerčně dodávaná řešení	19
2.3.1 Testovací stanice firmy FZG	19
2.3.2 Testovací stanice firmy BEPCO	20
2.4 Řešení využívaná automobilkami	21
2.4.1 Saab	21
2.4.2 Toyota	21
2.4.3 Ford	22
2.4.4 Porsche	23
2.5 Algoritmy zpětnovazební regulace	24
2.5.1 P regulátor	24
2.5.2 I regulátor	25
2.5.3 D regulátor	25
2.5.4 PI regulátor	25
2.5.5 PD regulátor	26
2.5.6 PID regulátor	26
2.5.7 Wind-Up efekt	27
2.6 Postup nastavení PI regulátoru	28
2.7 Metody identifikace systému	29
2.7.1 Aproximace proporcionální soustavou se setrvačností 1. řádu	29
2.7.2 Aproximace přechodových charakteristik s aperiodickým průběhem - Strejcova metoda	30
2.7.3 Aproximace dvoubodovou metodou	31
2.8 Metody syntézy systému	32
2.8.1 Zieglerova-Nicholsova metoda přechodové charakteristiky	32
2.8.2 Metoda optimálního modulu	34
2.9 Hardwarová a softwarová regulace a řízení	34
2.9.1 Hardwarové řízení	34
2.9.2 Softwarové řízení – LabView	35
2.10 Hardware určený pro regulaci a řízení pomocí LabView	35
2.10.1 NI USB měřicí karta	35
2.10.2 PXI	36
2.10.3 CompactRio	37
2.10.4 Porovnání hardware od National Instruments	39
3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	40
3.1 Analýza problému	40
3.2 Cíl práce	40
4 VARIANTY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ	42
4.1 Návrh měřicího a řídicího řetězce	42
4.2 Návrh variant řídicího panelu	43

4.3 Čidla potřebná pro nový tip řízení	43
4.4 Výběr řídicího hardware	44
5 OPTIMÁLNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	46
5.1 Vlastní realizace řízení	46
5.1.1 Řídicí obvod	46
5.1.2 Specifikace problému	47
5.1.3 Popis řídicího algoritmu	47
5.1.4 Bezpečnostní funkce algoritmu	52
5.1.5 Ovládací panel programu	54
5.1.6 Automatické řízení stanice	54
5.1.7 Záznam měřených dat do souboru	56
5.1.8 Naladění konstant PI regulace	56
5.1.9 Zapojení čidel ke kartě a řídicí hodnoty	57
5.2 Kalibrace snímačů	58
5.2.1 Kalibrace snímačů teploty PT100	58
5.2.2 Kalibrace tenzometru HBM S9	59
5.2.3 Kalibrace senzorů otáček	60
5.3 Konstrukce sdruženého panelu pro manuální ovládání	62
5.3.1 Přeprogramování panelu pro ruční řízení	62
5.3.2 Výroba součástí panelu pro ruční řízení	69
5.3.3 Schéma zapojení komponent	70
5.3.4 Montáž jednotlivých součástí	70
5.3.5 Pohled na finálovou koncepci stanice	73
6 DISKUSE	74
6.1 Zhodnocení vytvořeného řídicího systému	74
6.2 Zhodnocení vytvořeného řídicího systému	74
6.3 Finanční náročnost přestavby	74
7 ZÁVĚR	75
8 BIBLIOGRAFIE	77
SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	80
Seznam obrázků	80
Seznam Grafů	81
SEZNAM TABULEK	82
PŘÍLOHY	83
Příloha 1. – CANNON konektor na panelu	83
Příloha 2. – K1 konektor na panelu	83
Příloha 3. – K3 konektor na panelu	83
Příloha 4. – K3 konektor na kabelu	84
Příloha 5. – MIG konektor	84
Příloha 6. – MINI-DIN konektor	84
Příloha 7. – PT100 konektor na kabelu	85
Příloha 8. – PT100 konektor na panelu	85
Příloha 9. – Svorkovnice v panelu	85
Příloha 10. – Svorkovnice na dynamometru	86
Příloha 11. – Připojení kabeláže ke kartě NI USB 6008	86
Příloha 12. – Elektrické schéma stanice	87

1 ÚVOD

1

Diplomová práce je zaměřena na vývoj automatického zpětnovazebního řízení pro stanici na testování převodovek, která je vlastněna Ústavem konstruování na VUT v Brně. Důvodem pro vývoj automatického řízení je, že stanice nevyhovuje dnešním požadavkům na vzdálené řízení, jelikož vzdálené řízení je zde prováděno pomocí DOS programu, který není kompatibilní se stávajícími PC. DOS řízení bude v rámci diplomové práce nahrazeno novou aplikací vytvořenou v software LabView, čímž bude umožněno vzdálené automatické řízení pomocí současných PC. Další výhodou bude nové grafické rozhraní řídicí aplikace, které bude sloužit pro pohodlné ovládání stanice. Stanice po přestavbě řízení bude schopna plně automaticky testovat převodovky, čímž umožní dlouhodobé testování převodovek dle specifických testovacích požadavků. Dispozice stanice pro testování převodovek, která se nachází v laboratoři technické diagnostiky Ústavu konstruování, je znázorněna na obrázku níže.



Obr. 1 Schématické zobrazení stanice pro testování převodovek

Při všeobecném pohledu na toto téma je třeba říci, že stanice pro testování převodovek jsou využívány k optimalizaci parametrů převodovek před jejich finálním nasazením do produkce nebo pro testování převodovek pomocí simulace provozních podmínek. Používané testovací stanice jsou většinou stroji, které slouží pro provádění jednoho typu úloh. V našem případě je cílem dosáhnout maximální variability testovací stanice pro možnost provádění širokého spektra zkoušek. Zkoušky převodovek mohou být prováděny pomocí krátkodobých či dlouhodobých testů, které probíhají při konstantních otáčkách, konstantním zatěžovacím momentu nebo při proměnných hodnotách těchto zmiňovaných řídicích parametrů. Pomocí

uvedených testů je poté možno provádět zkoumání jejich hlučnosti, opotřebení, účinnosti, vibrací či dalších parametrů.

Text práce se bude zabývat shrnutím aktuálně využívaných řešení jednotlivých stanic, která jsou dostupná buď komerčně, nebo na vědecké úrovni. Na základě tohoto přehledu budou navrženy jednotlivé varianty řešení. Z nich bude poté vybráno výsledné řešení pro vytvoření automatického řízení stanice pro testování převodovek. Řešení bude obsahovat návrh a realizaci měřicího a řídicího řetězce a vypracování řídicího software umožňujícího zpětnovazební řízení stanice dle uživatelem definovaných parametrů. V závěru práce bude ukázán funkční vzorek řídicího hardware, vytvořený software a doloženy celkové náklady na rekonstrukci řízení testovací stanice.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2

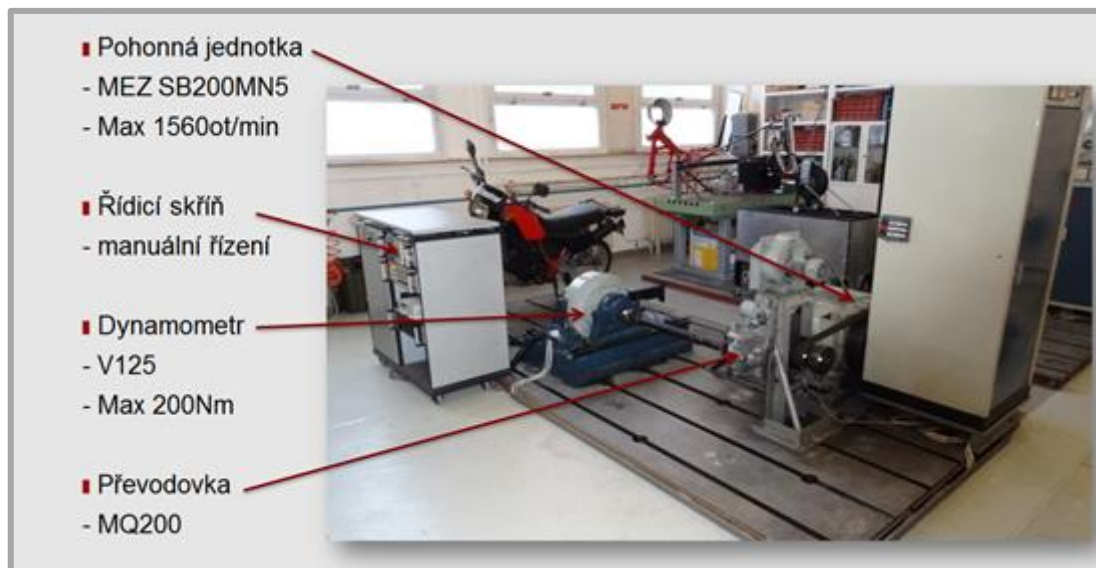
Jak již bylo napsáno v úvodu, stanice pro testování převodovek jsou velmi důležité pro vývoj převodovek, jejich ladění a testování. Každá převodovka, která je navržena a bude později zabudována do komerčně dodávaného systému, by měla být testována na účinnost, vibrace, opotřebení a další parametry jako je například hlučnost nebo poruchovost. Testy převodovek poté pomáhají předcházet problémům spojených s poškozením převodovek. Při poškození či špatném chování převodovky následuje ve většině případů reklamace a s tím spojené finanční vícenáklady pro dodavatelskou firmu. Výsledné náklady jsou rozděleny do části spojené s pracemi na odstranění vady a také do části náhradních dílů, výroby a dodání opraveného nebo nového kusu. Proto je z finančního hlediska nutné vícenákladům maximálně předcházet. Testování převodovek většinou probíhá v samotných firmách a jejich vlastních zkušebnách za použití komerčně dodávaných testovacích stanic. Výjimkou není ani spolupráce s univerzitami, zejména při řešení složitějších problémů při vývoji nových zařízení, získávání posudků při poruchách a podobně.

Základní koncepcí stanic je takzvaný otevřený nebo uzavřený okruh. Ten určuje, jestli stanice obsahuje jeden nebo dva výkonové prvky. Koncepce otevřeného testovacího okruhu je následovná: pohonná jednotka > zatěžovaný člen > výkonná brzda. Pokud ale chceme využít okruhu uzavřeného, je nutné dodržet následnou koncepci: pohonná jednotka > zatěžovaný člen a člen pro zatěžování. Na VUT v Brně má testovací stanice charakter otevřeného okruhu a je zmíněna v následujícím textu.

2.1 Stanice pro testování převodovek na Ústavu konstruování na VUT v Brně

2.1

Na obrázku níže můžete vidět konfiguraci stanice pro testování převodovek před rekonstrukcí. Na ÚK je stanice využívána s pohonem systému pomocí motoru MEZ SB200NM, který má možnost dotáhnout maximálních otáček 1560 min^{-1} a maximálního krouticího momentu 236 Nm. K tomuto motoru je připevněna řemenice, která spojuje motor a převodovku MQ200. Převodovka MQ200 slouží hlavně pro demonstraci funkce stanice a může být zaměněna za jinou převodovku, která svým rozměrem nepřekročí velikost pracoviště. Řemenice propojující motor a převodovku pracuje s převodovým poměrem 3 a může být vyměněna za jinou, pro získání nového převodového poměru. Převodovka je spojena pomocí kardanu s dynamometrem V125, který umí vyvinout maximální brzdňý moment 500 Nm. Maximální otáčky dynamometru jsou 7000 min^{-1} . Stanice dále obsahuje regulátor otáček IRO3400, který umožňuje vyhlazení případného kmitání otáček. Tento regulátor ale neumí zajistit zpětnovazební řízení otáček tak, aby byly otáčky udržovány na otáčkách požadovaných. Čidlo pro měření otáček na motoru je infračidlo T47, které je konstruováno na VUT. Na brzdě je použito čidlo Carlo Gavazzi IA05BSF10POP. V obou případech čidla měří k 60 bodům na jednu otáčku.



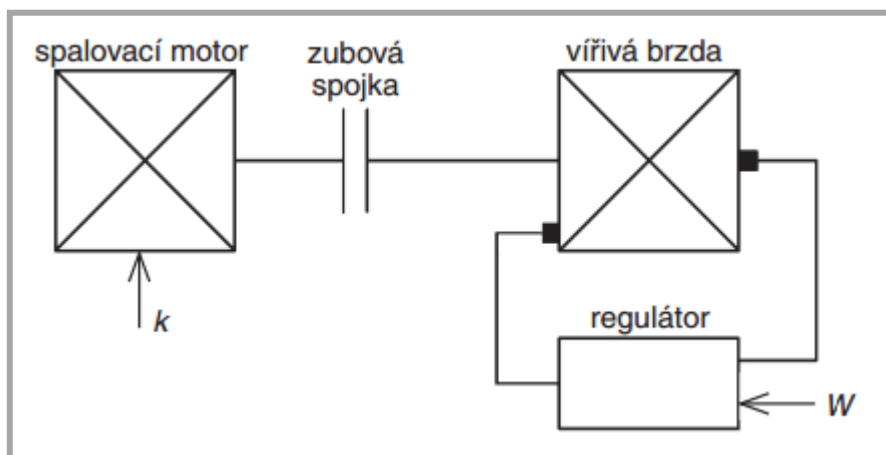
Obr. 2 Stanice pro testování převodovek na ÚK

2.2 Testovací stanice na univerzitách v ČR

V současnosti existuje množství vysokých škol zabývajících se testováním převodovek či testováním převodových ústrojí a pohonných jednotek. Z českých vysokých škol jsou to například České vysoké učení technické v Praze, Univerzita Pardubice, Technická univerzita v Liberci a Vysoká škola báňská. V následujícím textu budou přiblížena jednotlivá vysokoškolská řešení.

2.2.1 České vysoké učení technické v Praze

ČVUT vlastní dvě testovací stanice. První stanice se sice nezabývá přímo testováním převodovek, ale její koncepce je z části podobná se stanicí v diagnostické laboratoři Ústavu konstruování VUT v Brně. Testovací stanice obsahuje dynamometr ovládaný frekvenčním měničem. Frekvenční měnič je v tomto případě zpětnovazebně řízen USB kartou od National Instruments. Celá stanice pak slouží k ladění výkonu spalovacího motoru studentské formule. Technickými parametry stanice jsou maximální otáčky 6000 min^{-1} a maximální brzdňý výkon 110 kW [1].



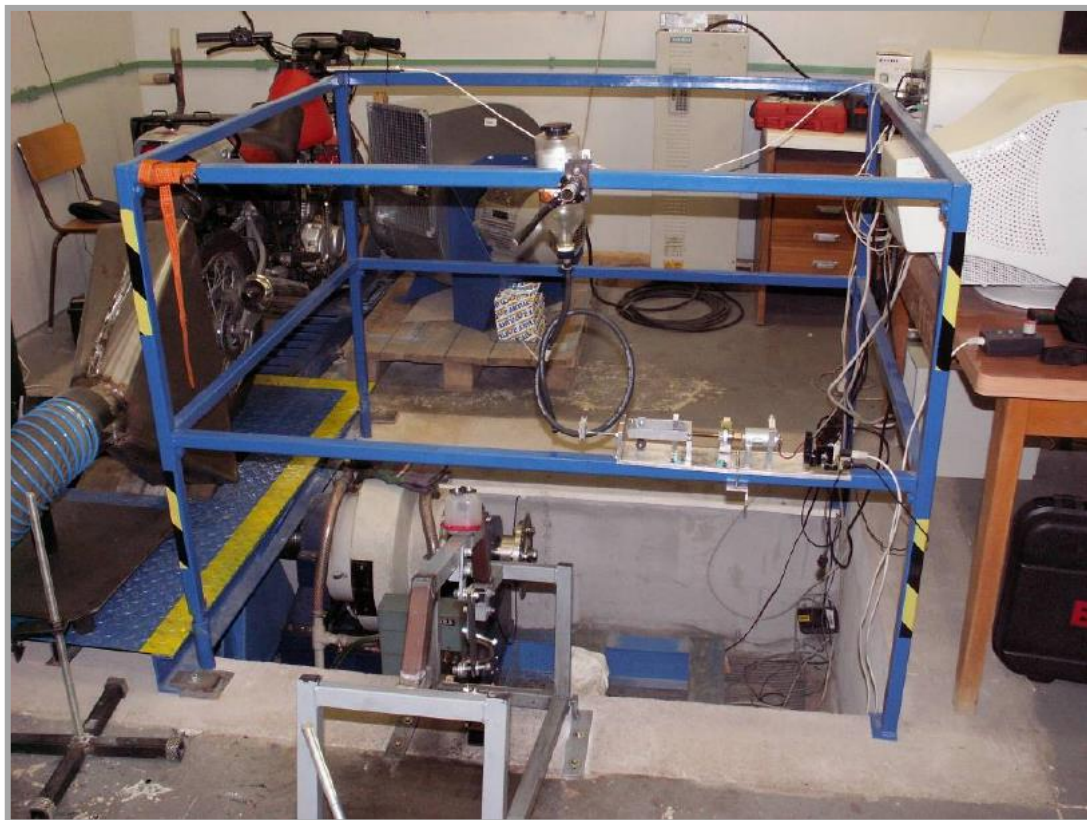
Obr. 3 Stanice pro ladění výkonu studentské formule [1]

Druhou stanicí na ČVUT je brzdňý stend, který slouží pro optimalizaci přeplňování spalovacích motorů. Výkon použitého dynamometru je 111 kW a jeho maximální otáčky jsou $6\,000\text{ min}^{-1}$. Ovládacím hardwarem je zde opět frekvenční měnič, který je ale řízen průmyslovým řídicím terminálem AMIT ART267A. Zmiňovaný řídicí terminál je na trhu dostupný za přibližně 18 000 Kč. Tento terminál obsahuje 6 analogových vstupů a 2 analogové výstupy a 8 číslicových galvanicky oddělených vstupů a 8 číslicových galvanicky oddělených výstupů. Pro naši aplikaci by využití tohoto terminálu bylo možné, ale celkové náklady by byly zbytečně vysoké. Řízení dynamometru na stanici probíhá pouze na úrovni zpětnovazebního řízení otáček [2].

2.2.2 Univerzita Pardubice

2.2.2

Stanice, kterou Univerzita Pardubice využívá, slouží především k měření průběhu výkonu a krouticího momentu u motocyklů, jejich motorů a dále u motorů automobilových [3]. Řídicí terminál AMIT ART267A, jenž je pro stanici hlavním řídicím členem, umožňuje provádění zpětnovazební regulace otáček a brzdňého momentu. Zpětnovazebná regulace je poté prováděna pomocí softwaru naprogramovaného v programovacím jazyce C. Stanice má následující parametry. Výkon použitého dynamometru je hodnoty rovné 125 kW, maximální otáčky jsou 3600 min^{-1} a disponuje maximálním brzdňým momentem 597 Nm. Snímače použité na této stanici jsou snímač síly na 2 kN, indukční snímač otáček, tenzometrický snímač brzdňé síly, snímač napájecího proudu a atmosférická sonda, která umožňuje měření vlhkosti a rosného bodu okolí, okolní teplotu a okolní tlak. Dalšími prvky stanice jsou měřicí ústředna [4], systém odtahu výfukových plynů a vzduchové chlazení motorů. Řídicí terminál je zde stejný jako terminál na ČVUT a jeho použití pro nás není výhodné z hlediska vysoké ceny. Samotný terminál by pro řízení a měření chování stanice použít šel.



Obr. 4 Stanice pro testování průběhu výkonu a krouticího výkonu [3]

2.2.3 Technická univerzita v Liberci

Na Technické univerzitě v Liberci používají testovací stend k měření charakteristik spalovacích motorů. Stanice dále slouží pro optimalizaci spalování a v neposlední řadě také studentům, kteří na ní získávají nové dovednosti pomocí výukových úloh [5]. U této stanice sice nejsou dostupné výkonnostní charakteristiky, nicméně jsou v materiálech zmíněny veličiny, které mohou být měřeny a řízeny. Těmito veličinami jsou otáčky motoru, brzdný moment, teplota nasávaného vzduchu, tlak ve válci, emise, množství dodávaného paliva, množství spotřebovaného vzduchu a pozice plynového pedálu [5], [6].

2.2.4 Vysoká škola báňská

Vysoká škola báňská se specializuje především na testování převodovek Tatra, u kterých měří především hluk a vibrace. Vibrace jsou v tomto případě měřeny bezkontaktně laserem se dvěma paprsky a opticky pomocí snímání pohybu referenční plošky. [7]. Přibližně před dvěma lety byla stanice v podobě, kdy ji bylo možné ovládat pouze v manuálním režimu. Tento režim umožňoval testování převodovek pomocí zátěže na stejné otáčky nebo na stejný brzdný moment [8], [9]. Nyní je VŠB vázána smlouvou mlčenlivosti z důvodu spolupráce s průmyslem, od kterého také dostali grant na modernizaci stanice. Domnívám se tedy, že stanice byla přepracována tak, že je nyní integrováno vzdálené automatické řízení, které umožňuje zpětnovazebnou regulaci otáček pohonné jednoty a zatěžovacího momentu dynamometru, čímž je umožněno provádění dlouhodobých zkoušek dle předem definovaných parametrů a dále také umožněno provádění zkoušek s dynamicky

proměnnými řídicími hodnotami. Věřím také, že s velkou pravděpodobností je do automatického řízení také integrována možnost záznamu měřených dat.



Obr. 5 Stanice pro testování převodovek Tatra [10]

2.3 Komerčně dodávaná řešení

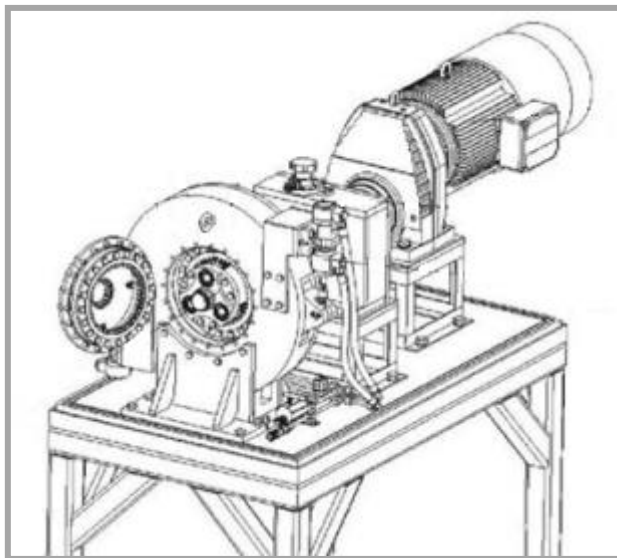
2.3

Jednotlivá řešení jsou většinou součástí sady zařízení pro testování převodovek různých druhů, jež jsou danou společností dodávána. Testované převodovky poté mohou být velmi malé, kdy testování probíhá na malých testovacích strojích, ale také velkých rozměrů a výkonů, pro jejich využití například ve větrných turbínách. Jednotlivá řešení jsou tedy předem navržena s ohledem na jejich použití, což znamená, že stroje jsou spíše jednoúčelového charakteru.

2.3.1 Testovací stanice firmy FZG

2.3.1

Firma ZFG se zabývá výrobou stanic pro testování jak malých převodovek, tak i převodovek pro větrné elektrárny. Z této široké škály výrobků je v tomto textu zmíněno pouze řešení používané pro testování malých planetových převodovek, jelikož je zde zajímavé, na jaké testy se stanice specializuje. Zmiňovaná stanice v tomto případě umožňuje sledování a případný výpočet kinematických a tribologických podmínek. Pohonná jednotka této stanice dokáže vyvinout otáčky 1000 min^{-1} a dosáhnout maximálního krouticího momentu 200 Nm. Dynamometr, který je v tomto případě použit, má maximální hodnotu brzdného momentu 6000 Nm. Hlavní zajímavostí tohoto řešení je ale využití stanice pro studování opotřebení planetové převodovky. Dále na této stanici probíhá také studium mikropittingu a pittingu nebo sledování rozložení sil na jednotlivá kola planetové převodovky [11]. Z vyjmenovaných parametrů tedy usuzuji, že by tato stanice díky svým možnostem mohla být využívána i na vědecké úrovni.



Obr. 6 Stanice pro testování planetových převodovek firmy FZG [11]

2.3.2 Testovací stanice firmy BEPCO

Testovací stanice v minulé kapitole sloužily pro vědecké účely a jejich konstrukce odpovídala finančním možnostem a dané specializaci. Zařízení, které bude představeno nyní, je navrženo pro testování automobilových převodovek a je veřejně dostupné pro jeho dodání. Parametry stanice jsou následovné: výkon pohonné jednotky je roven 133 kW, maximální otáčky pohonu mají hodnotu 2500 min^{-1} , brzdňý moment dynamometru je roven 250 Nm. Stanice má dále integrováno automatické řazení převodů a omezovač krouticího momentu. Její hlavní nevýhodu jsou velké zástavbové rozměry a váha stanice, která činí 26 t [12].



Obr. 7 Stanice pro testování převodovek od firmy BEPCO [12]

2.4 Řešení využívaná automobilkami

Níže zmiňovaná řešení jsou specifickou odnoží technologií. Automobilky, které testovací stanice využívají, většinou potřebují speciální řešení, která jinak na trhu dostupná nejsou. Z tohoto důvodu si také nechávají své testovací stanice vyrábět na zakázku. Existují ale také automobilky, které testovací stanice nepoužívají pouze pro testování automobilových převodovek, ale pro testování jiných převodovek, jež jsou vyráběny například mateřskými společnostmi, a proto testovací stanice mohou být i velkých rozměrů a výkonů jako stanice používaná firmou Toyota.

2.4.1 Saab

Již zaniklá automobilka SAAB používala velmi variabilní verzi testovací stanice. Stanice totiž nesloužila pouze pro testování převodovek, nýbrž pro testování celého pohonného ústrojí automobilu. Testování zde probíhalo pro automobily s předním náhonem, zadním náhonem i pro pohon čtyř kol. Simulovaly se zde například pulzy spalovacího motoru, přílnavost a elasticita pneumatik, jízdní vlastnosti vozidla pomocí simulace průjezdu zatáček či určité tratě. Řazení a spojka zde byly ovládány robotem a prováděné zkoušky měly charakteristiku jak jednoduchých simulací, tak i složitých dlouhodobých zkoušek. Výkonnostní parametry stanice zmiňuje následující text.

Pohonná jednotka o výkonu 370 kW dosahovala maximálního krouticího momentu 600 Nm a maximálních otáček 7000 min^{-1} . Jednotlivé dynamometry provádějící zatěžování, měly tyto parametry: výkon 157 kW, maximální brzdny moment 2500 Nm a maximální otáčky 2400 min^{-1} [13].



Obr. 8 Stanice pro testování pohonného ústrojí automobilky Saab [13]

2.4.2 Toyota

Toyota využívá stanici s vysokou dynamikou a výkonem, což umožňuje simulaci skutečných jízdních parametrů, okolních podmínek a podmínek tratě. Tři synchronní elektromotory zde pohánají převodovku pro možnost testování a simulace zatížení

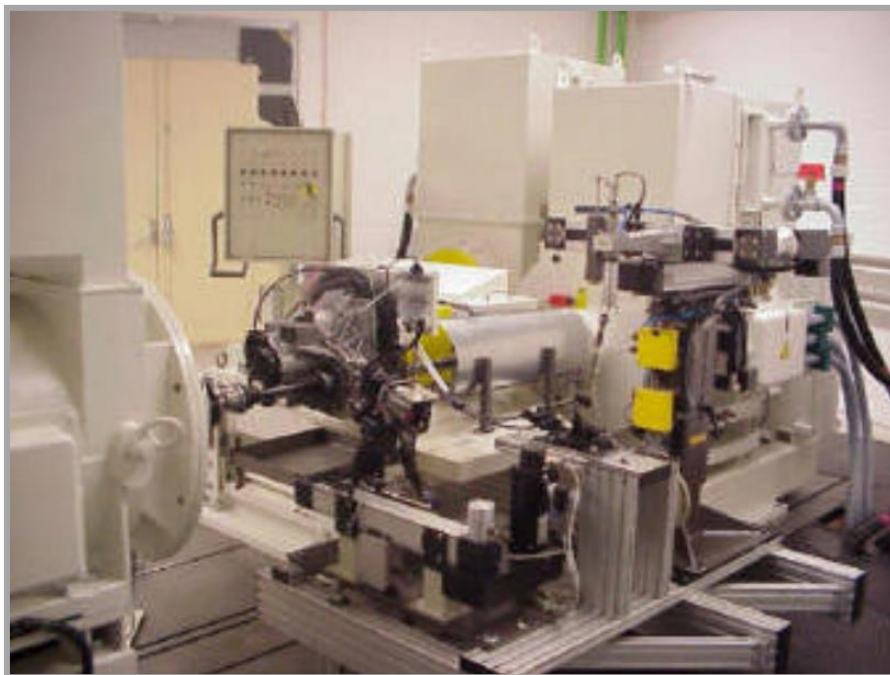
chování převodovky při spalovacích pulzech. Dále zde jsou dvě hydraulické brzdy simulující zatížení převodovky. Celý systém je natolik univerzální, že umožňuje i přeřazování jednotlivých stupňů převodovky. Toyota na této stanici testuje hlavně výkon a spolehlivost převodovek. Výkonnostní parametry stanice jsou následovné: výkon pohonné jednotky je 700 kW s maximálním krouticím momentem 400 Nm a maximálními otáčkami 22000 min^{-1} . Dynamometry provádějící zatěžování, mají tyto parametry: výkon 450 kW, maximální brzdny moment 2000 Nm a maximální otáčky 3100 min^{-1} [14], [15].



Obr. 9 Testovací stanice automobilky Toyota [14]

2.4.3 Ford

Německá odnož automobilky Ford prezentuje svoji testovací stanici jako zařízení potřebné pro simulaci dnešních náročných podmínek, ve kterých automobilové převodovky pracují. Tyto náročné podmínky jsou na zmiňované stanici simulovány při testech v řádu týdnů i měsíců. Parametry stanice jsou následující. Rychlost řízení je rovna 500 Hz a je zde snímáno více jak 10 měřených kanálů. Měřené hodnoty jsou poté zpracovávány v reálném čase a ukládány pro pozdější vývojovou diagnostiku. Jako měřené parametry jsou zmiňovány otáčky vstupu a výstupu převodovky a krouticí moment. Jelikož je měřených kanálů minimálně 10, je možné, že se také dá měřit hluk, nebo vibrace [16]. Pozdější diagnostika umožňuje například zobrazení naměřených dat v podobě 2D grafu.

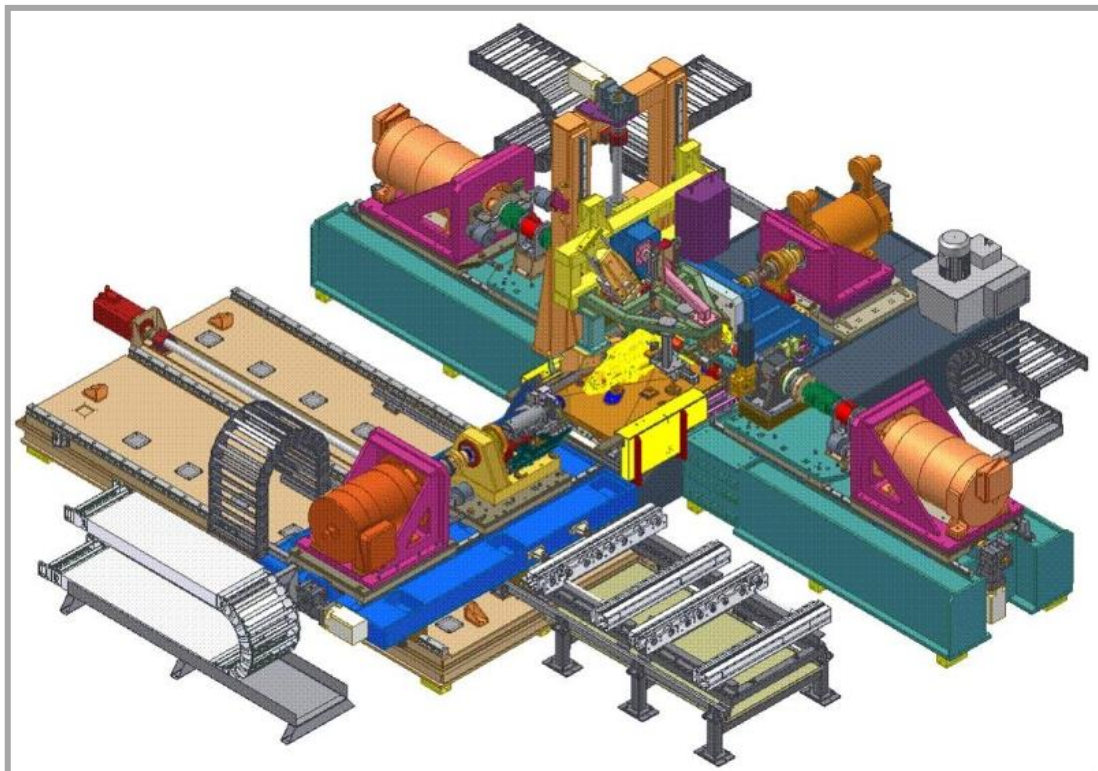


Obr. 10 Stanice pro testování převodovek automobilky FORD [16]

2.4.4 Porsche

Stanice na obrázku níže, je hlavním testovacím prvkem pro zkoušky převodovek u automobilky Porsche. Stanice umožňuje nahrání a následné řízení dle simulačních hodnot, které reprezentují chování benzinových, nebo naftových motorů. Samotné řízení se provádí pomocí PLC, jež komunikuje přes CAN sběrnici s řízenými prvky. Pohonnou jednotkou této stanice je asynchronní motor, který je chlazený vodou. Na stanici mohou probíhat simulace pohonu vozidel s předním náhonem nebo vozidel s náhonem na všechna čtyři kola [17].

2.4.4



Obr. 11 Testovací stanice dodaná automobilce Porsche [17]

2.5 Algoritmy zpětnovazební regulace

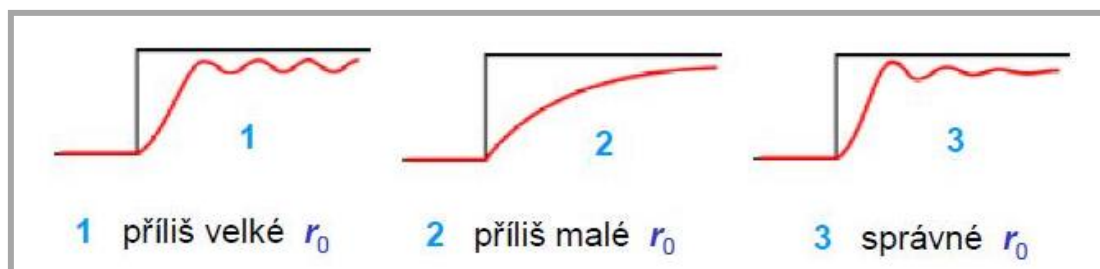
Kapitola přibližuje jednotlivá řešení zpětnovazební regulace, která je možné využít pro automatické řízení. Budou zde zmíněny typy regulátorů, včetně výhod a nevýhod, s ohledem na řízení stanice pro testování převodovek, popsán princip funkce, přibliženo použití pro různé řízené komponenty a nastíněny výhody hardwarové a softwarové varianty regulace.

Regulátor je zařízení ovlivňující regulovaný systém na základě požadované a skutečné veličiny a jako takový slouží pro dosažení a udržení stavu, který je požadován [18].

2.5.1 P regulátor

P regulátor, respektive proporcionální regulátor, funguje pouze na principu zesílení regulační odchylky a je nejjednodušším typem regulátoru [19]. Jeho hlavní využití je v méně náročných aplikacích s menšími změnami regulované veličiny. Soustavy, které se tímto regulátorem regulují, jsou nejčastěji soustavy bez regulačního zpoždění nebo s malým regulačním zpožděním. Výhodou je hlavně jeho snadné nastavení. Nevýhodou tohoto regulátoru je, vnesení regulační odchylky do regulovaného systému [20].

Na obrázku Obr. 12 je náhled na způsob experimentálního ladění P regulátoru. Konstanta r_0 je v tomto případě parametrem, který ovlivňuje chování regulátoru a proto je ji potřeba optimálně nastavit, aby regulace probíhala správně. Jak je níže vidět, při velkém r_0 dochází ke kmitání regulované veličiny. Naopak při malém zesílení regulátor reaguje velmi pomalu, což je také nežádoucí. Optimální hodnota konstanty r_0 je tedy taková, při které dojde k překmitu regulátoru nad požadovanou hodnotu ale zároveň také k jejímu rychlému ustálení.



Obr. 12 Schéma chování P regulátoru [20]

2.5.2 I regulátor

2.5.2

Integrační regulátor je takový, který má akční veličinu úměrnou integrálu regulační odchylky [19]. Integrační regulátor se samostatně prakticky nevyužívá, i když jeho regulační zásahy není vnášena do regulovaného systému regulační odchylka. Hlavní důvod jeho nenasazení do regulačních obvodů je kmitavý průběh regulované veličiny [21].

2.5.3 D regulátor

2.5.3

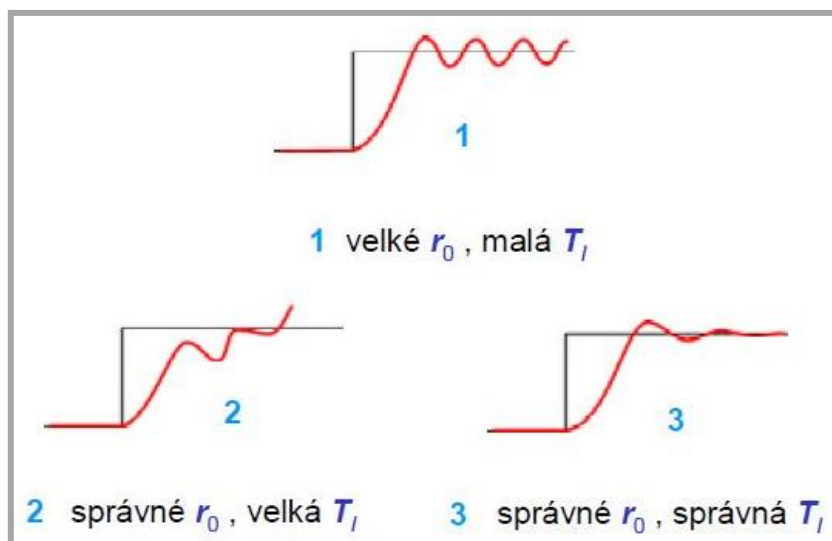
Derivační regulátor je jediný, který nejde technicky realizovat. Důvodem je, že akční veličina, jež ovlivňuje řízený systém, je úměrná derivaci regulační odchylky. V ustáleném stavu by tedy došlo k rozpojení regulovaného obvodu a nebylo by již možné tento obvod řídit [19].

2.5.4 PI regulátor

2.5.4

Proporciálně-integrační je regulátor s akční veličinou úměrnou jak regulační odchylce, tak jejímu integrálu. Vliv jednotlivých regulačních složek se dá ovlivnit pomocí nastavení konstant regulátoru [19]. Tento regulátor je nejběžněji používanou regulační variantou, která je využívána pro středně náročné aplikace s pomalými nebo středně rychlými změnami regulované veličiny. Regulované soustavy poté mohou být bez regulačního zpoždění nebo s malým regulačním zpožděním. Jeho nastavení je již obtížnější, ale výhodou je, že pracuje bez trvalé regulační odchylky [20]. Hlavní nevýhodou je, že může dojít k jeho rozkmitání, což může vést k poškození regulované soustavy. Tento jev se nazývá Wind-Up (rozevlátí) a je nutné mu předcházet [20]. Toto téma podrobněji řešeno v kapitole 2.5.7.

Obrázek Obr. 13 ilustruje nastavování PI regulátoru. Tento regulátor obsahuje dvě vstupní konstanty, kterými jsou r_0 – zesílení a T_i – integrační konstanta. Při nastavení velké hodnoty zesílení a malé integrační konstanty dochází ke kmitání regulátoru ale ne k jeho ustálení na požadované hodnotě. Pokud je ale správně nastavena konstanta r_0 , ale hodnota T_i je příliš velká, dochází při přechodu na požadovanou hodnotu k zakmitávání regulované veličiny. Při správném nastavení zesílení i správném nastavení integrační konstanty dojde ke krátkému překmitu regulované veličiny a následnému ustálení na požadované hodnotě.



Obr. 13 Schéma chování PI regulátoru [20]

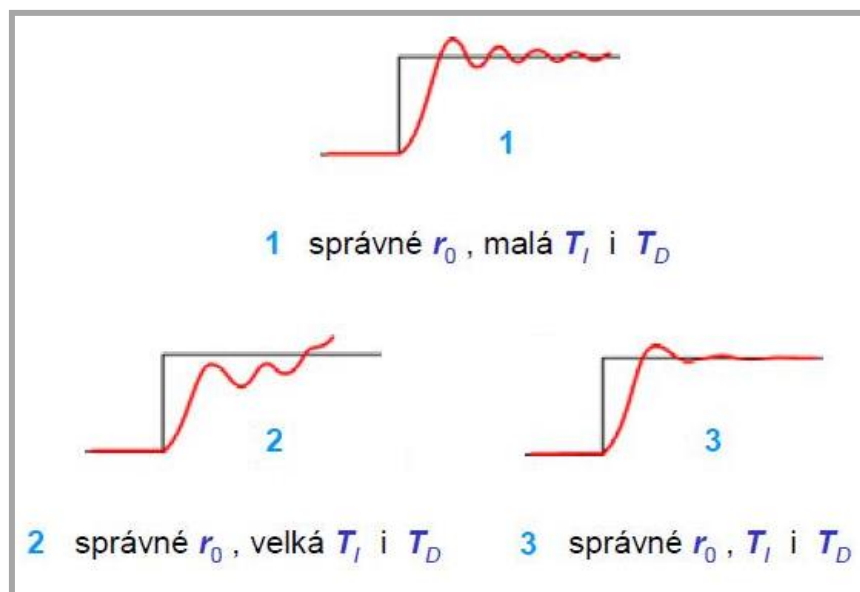
2.5.5 PD regulátor

Proporciálně-derivační regulátor má akční veličinu úměrnou regulační odchylce a její derivaci [19]. Tento regulátor je velmi málo používaným řešením regulace systémů s větším dopravním zpožděním. Používá se pro regulaci obvodů, ve kterých probíhají rychlé, ale malé změny regulované veličiny. Tento regulátor je velmi obtížně nastavitelný, pracuje s trvalou regulační odchylkou a zhoršuje stabilitu regulovaného obvodu [20].

2.5.6 PID regulátor

Proporciálně-integračně-derivační regulátor je takový, který má akční veličinu úměrnou regulační odchylce, jejímu integrálu a její derivaci [19]. PID regulátor je používán pro nejnáročnější aplikace s velkými a rychlými změnami regulované veličiny. Regulované soustavy se vyznačují větším dopravním zpožděním [20]. Hlavní výhodou je vysoká kvalita regulace, nevýhodou jsou velké nároky na regulátor, zdlouhavé nastavení regulačních konstant [22] a možnost nastání Wind-Up efektu při jeho špatném seřízení [20].

Níže jsou zobrazeny situace problematického chování PID regulátoru při jeho špatném nastavení a také varianta správného nastavení proporciálně-integračně-derivačního regulátoru. Při správném nastavení konstanty r_0 – zesílení, ale malé hodnotě konstanty T_i – integrační konstanta a T_d – derivační konstanta, proběhne při změně regulované veličiny dlouhé kmitání kolem požadované hodnoty. Pokud je r_0 správné, ale naopak konstanty T_i a T_d mají velkou hodnotu, dochází k překmitům již při přechodu na novou požadovanou hodnotu. Při nastavení správných hodnot r_0 , T_i a T_d dojde k velmi krátkému překmitu a také k rychlému a přesnému ustálení regulátoru na požadované hodnotě.

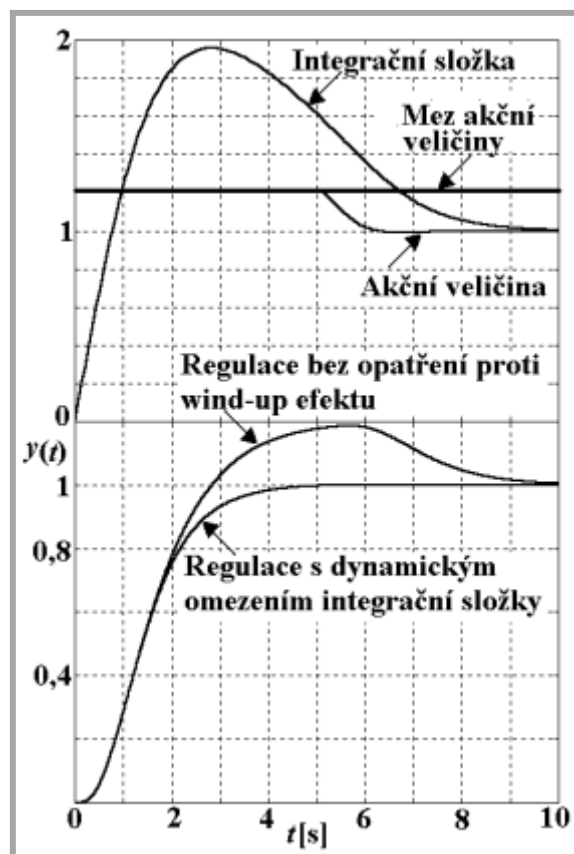


Obr. 14 Schéma chování PID regulátoru [20]

2.5.7 Wind-Up efekt

2.5.7

Každý regulovaný člen je omezen jeho fyzikálními vlastnostmi, které určují možnost použitelného rozsahu hodnot využívaných regulátorem. Wind-Up efekt je způsoben vygenerováním vyšší řídicí hodnoty než je řídicí hardware schopen realizovat. Tento jev, způsobený generováním nerealizovatelné hodnoty, se vyskytuje u všech regulátorů, které obsahují integrační složku. Demonstračním příkladem může být hardwarové omezení řídicího napětí v rozmezí 0-10 V. K rozkmitání regulátoru dojde tehdy, pokud regulátor bude požadovat vyšší hodnotu než je 10 V. Při požadavku například 11V řídicí hardware reálně provede zásah pouze 10V. Regulátor ale považuje zásah do regulovaného systému za ten, jenž byl požadován a sleduje odezvu systému na tento zásah. Jelikož zásah není realizovatelný v požadované hodnotě, dojde k vnesení chyby do řízeného systému a tím tedy i k chybnému ovlivnění integrační hodnoty regulátoru. Chybná integrační hodnota pak způsobí pokles pod požadovanou hodnotu a prodlevu v reakci regulátoru na provádění potřebného zásahu [23].



Obr. 15 Ukázka Wind-Up efektu [24]

2.6 Postup nastavení PI regulátoru

Budou zde zmíněny metody pro nastavení regulátoru na základě měření chování systému a pro nastavení systému pomocí jeho přivedení do rezonance.

Přivedení systému do rezonance využívá pro nastavení regulačních konstant metoda kritického zesílení regulátoru Zigler-Nichols [32]. U této metody je nutné postupným zvyšováním zesílení (P konstanty) přivést systém do rezonance, kdy bude stabilně kmitat. Následně je získaná hodnota zesílení r_k vynásobena hodnotou 0,45 a tím je získána hodnota zesílení pro nastavení regulátoru. Poté je třeba změřit délku periody kmitu. Tento získaný časový interval je poté vynásoben konstantou 0,85. Výsledkem je hodnota konstanty I složky. Výsledné hodnoty je třeba experimentálně doladit tak, aby vše fungovalo jak má. Je to jedna z nejjednodušších metod pro nastavení regulátorů.

Tab. 1 Optimální seřízení regulátorů podle Metody kritického zesílení [32]

Typ regulátoru			
P	$0,5r_k$		
PI	$0,45r_k$	$0,85T_k$	
PID	$0,6r_k$	$0,5T_k$	$0,125T_k$

Druhou možností pro nastavení regulátoru je provést analýzu systému a postupovat podle následujících kroků. Nejprve je třeba provést **analýzu** regulovaného systému a následně provést **identifikaci** přenosové funkce a **syntézu**

regulátoru. Analýzou rozumíme především zvolení typu popisu systému. V případě popisu soustavy pomocí přechodové charakteristiky, je možno tuto charakteristiku snadno zjistit experimentálním měřením na soustavě, která bude v budoucnu regulována. Ve své podstatě se využívá tří metod měření. Z každého tohoto typu dostaneme rozdílnými postupy jiné přenosové funkce. Ve všech případech se ale jedná o regulérní popis daného systému a výsledek by měl být ve všech případech identický. Existují tedy následující tři metody pro zjištění přenosové funkce:

- frekvenční – na vstup systému přivádíme známý harmonický signál a na výstupu poté sledujeme změnu fáze a amplitudy. Ve výsledku získáme jeden bod charakteristiky.
- přechodový – na vstup systému přivedeme jednotkový skok a na výstupu sledujeme odezvy systému.
- impulsní – na vstup systému přivádíme Diracův impuls.

Po naměření přechodových charakteristik má být přistoupeno k identifikaci systému. Ačkoli jsou reálné systémy popsány rovnicemi vyšších řádů (deset i více), všechny zmíněné metody pracují s aproximací reálných rovnic maximálně druhým stupněm.

2.7 Metody identifikace systému

Odrážky níže ukazují nástin použitelných metod pro identifikaci systému [27].

2.7

- Aproximace proporcionální soustavou se setrvačností 1. řádu
- Aproximace přechodové charakteristiky s kmitavým průběhem
- Aproximace přechodových charakteristik s aperiodickým průběhem - Strejcova metoda
- Vyhodnocení přechodové charakteristiky integrační soustavy
- Vyhodnocení integrační soustavy se setrvačností
- Aproximace odezev derivačních členů
- Soustavy s dopravním zpožděním
- Aproximace pomocí tečny v inflexním bodě
- Aproximace pomocí sečny v inflexním bodě
- Aproximace pomocí tečny a sečny v inflexním bodě
- Aproximace dvoubodovou metodou - varianta č. 1
- Aproximace dvoubodovou metodou - varianta č. 2
- Aproximace přenosem 2. řádu
- Aproximace třibodovou metodou
- Aproximace metodou ploch

V následujícím textu budou blíže zmíněny pouze na některé z těchto metod.

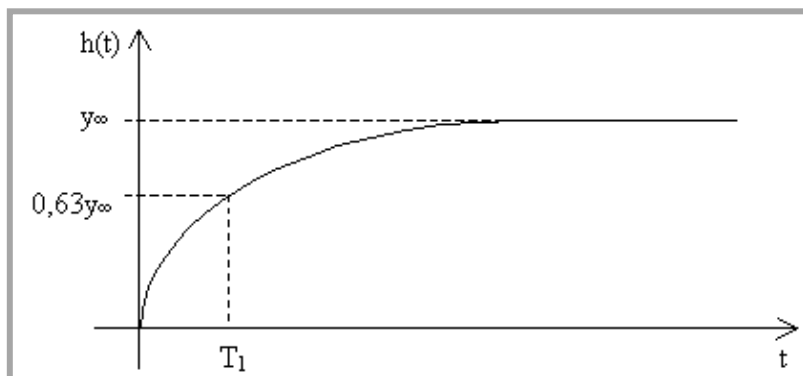
2.7.1 Aproximace proporcionální soustavou se setrvačností 1. řádu

2.7.1

Jedná se o asi nejjednodušší popis systému. Kdy nedochází k žádnému zpoždění a rovnice přenosu vypadá takto:

$$G(s) = \frac{K}{T_1 \cdot s + 1}$$

Zesílení K je určeno jako poměr ustálené hodnoty výstupní ($y(\infty)$) a vstupní veličiny. Časovou konstantu, jak je vidět na obrázku níže, je možno určit jako čas, který je potřeba k dosažení 63% ustálené hodnoty.



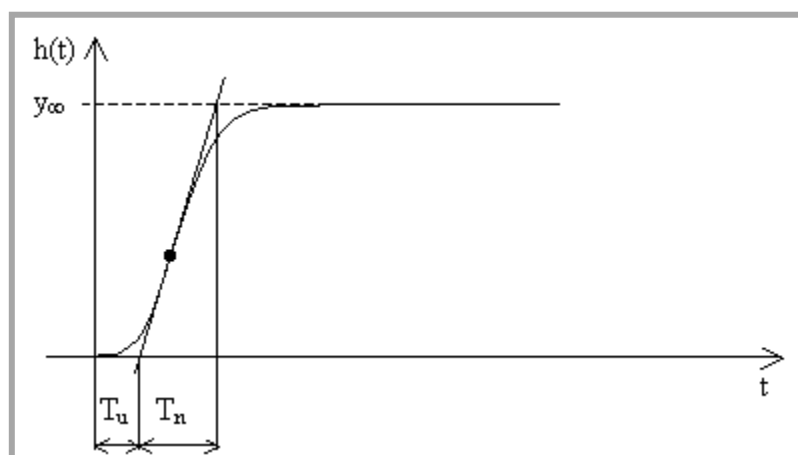
Obr. 16 Aproximace přechodové charakteristiky proporcionální soustavy se setrvačností 1. řádu [28]

2.7.2 Aproximace přechodových charakteristik s aperiodickým průběhem - Strejcova metoda

Tato metoda dobře aproximuje systémy druhého a vyššího řádu. První rovnice se užívá pro systém, u kterého platí $\tau > 0,104$. Druhá rovnice zase pro $\tau < 0,104$

$$G(s) = \frac{K}{(T \cdot s + 1)^n} \quad G(s) = \frac{K}{(T_1 \cdot s + 1)(T_2 \cdot s + 1)} \quad (\text{rce 1})$$

$$\tau = \frac{T_u}{T_n}$$



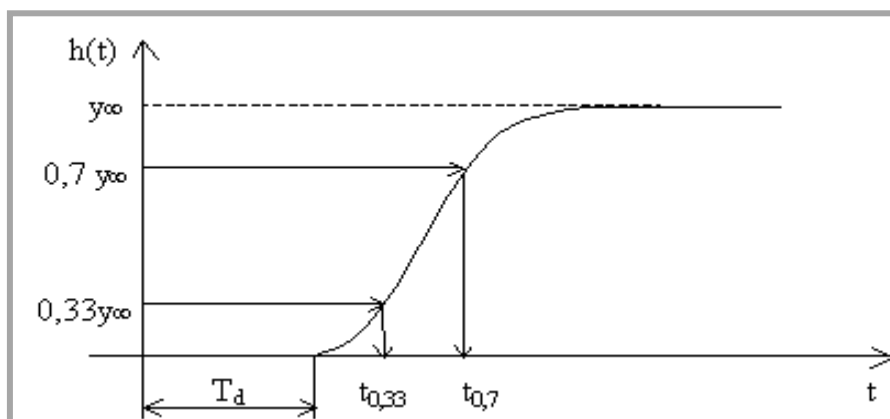
Obr. 17 Přechodová charakteristika s aperiodickým průběhem a s vyznačenou dobou náběhu a průtahu [28]

Níže bude popsán pouze obecný postup bez uvedení tabulek, které jsou potřebné ke zpracování získaných hodnot.

1. Naměřenou charakteristiku překreslíme tak, aby ustálená hodnota nabývala hodnoty 1.
2. Nakreslíme tečnu v odhadnutém inflexním bodě přechodové charakteristiky
3. Spočteme τ
4. Určíme zesílení $K = \frac{\Delta y}{\Delta u}$
5. Pro $\tau > 0,104$ odečteme hodnoty z tabulky
6. Pro $\tau > 0,104$
 - a. Z grafu odečteme čas $t_1(y(t_1) = 0,720)$ a spočteme součet $T_1 + T_2 = t_1/1,2564$
 - b. $t_2 = 0,3574(T_1 + T_2) = 0,2845 \cdot t_1$
 - c. Z tabulky odečteme τ_2 , jež je roven $\tau_2 = \frac{T_2}{T_1}$

2.7.3 Aproximace dvoubodovou metodou

2.7.3



Obr. 18 Aproximace přechodové charakteristiky dvoubodovou metodou [28]

Rovnice této metody zní:

$$G(s) = \frac{K}{T_1 \cdot s + 1} \cdot e^{-T_d \cdot s}$$

Jednotlivé hodnoty získáme následně:

$$\begin{aligned} T_d &= 1,498 \cdot t_{0,33} - 0,498 \cdot t_{0,7} \\ T_1 &= 1,245 \cdot (t_{0,7} - t_{0,33}) \\ K &= \frac{\Delta y}{\Delta u} \end{aligned}$$

Nyní postoupíme k dalšímu kroku, kterým je **syntéza regulátoru**. Syntézou regulačních obvodů rozumíme návrh regulátoru a jeho parametrů tak, aby obvod splňoval požadavky kladené na regulační pochod. Do syntézy zahrnujeme pouze teoretický návrh regulačního obvodu a nikoliv i následnou volbu technické realizace návrhu. Při návrhu regulačního obvodu však vycházíme z provozních podmínek

(např. rozměry a hmotnost zařízení, pracovní prostředí, režim provozu apod.), ve kterých bude regulační obvod pracovat.

Při syntéze regulačního obvodu potřebujeme znát:

1. dynamické vlastnosti regulované soustavy (přenos, diferenciální rovnici, přechodovou charakteristiku),
2. předpokládaný průběh řídicí veličiny,
3. předpokládané průběhy poruchových veličin a místo jejich vstupu do regulované soustavy,
4. omezení akčních veličin (výstupní hodnota z regulátoru nemůže nabývat libovolně velké hodnoty),
5. požadavky na kvalitu regulace.

2.8 Metody syntézy systému

- ZN metoda (1-. Modifikace)
- ZN metoda (2. Modifikace)
- ZN metoda (3. modifikace)
- Metoda inverze dynamiky
- Metoda optimálního modulu
- Metoda symetrického optima
- Metoda standartních tvarů

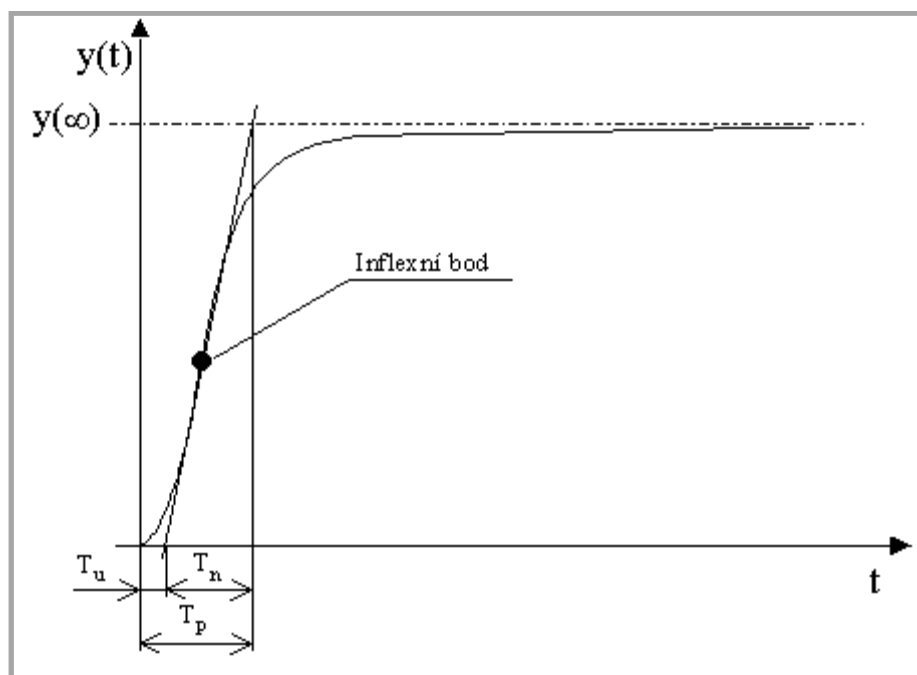
Všechny metody sepsané výše [29] slouží pro co nejlepší navrzení konstant regulátoru a jejich ručním doladěním lze ještě dosáhnout dalšího zpřesnění. U vybraných metod, které budou dále zmíněny, nebude příliš zmiňována teorie, ale bude kladen důraz spíše na praktickou aplikaci na navrzení a odladění konstant.

2.8.1 Zieglerova-Nicholsova metoda přechodové charakteristiky

Je to jedna z nejjednodušších metod. Lze ji použít pro lineární spojitě i diskrétní regulační obvody. Za předpokladu, že soustava nemá přechodovou charakteristiku s překmitem.

Z přechodové charakteristiky je třeba určit následující hodnoty:

- K – zesílení
- T_u – doba průťahu
- T_n – doba náběhu
- $T_p = T_u - T_d$ – doba průťahu



Obr. 19 Náčrt Zieglerovy-Nicholsovy metody [29]

Určení parametrů přenosu regulované soustavy z přechodové charakteristiky regulované soustavy

Tab. 2 Rovnice pro určení konstant regulátorů - Ziegler-Nicholsova metoda

Typ regulátoru	k_p^*	T_I^*	T_D^*
P	$\frac{T_n}{T_u \cdot k}$		
PI	$0,9 \cdot \frac{T_n}{T_u \cdot k}$	$3,5 \cdot T_u$	
PD	$1,2 \cdot \frac{T_n}{T_u \cdot k}$		$0,25 \cdot T_u$
PID	$1,25 \cdot \frac{T_n}{T_u \cdot k}$	$2 \cdot T_u$	$0,05 \cdot T_u$

2.8.2 Metoda optimálního modulu

Tab. 3 Optimální seřízení regulátorů podle kritéria optimálního modulu.

Přenos regulované soustavy	$G(s) = \frac{K}{(T \cdot s + 1)^n}$	$G(s) = \frac{K}{(T_1 \cdot s + 1)(T_2 \cdot s + 1)}$
Typ regulátoru		
P	$k_p^* = \frac{1}{k_1} \frac{1}{n-1}$	$k_p^* = \frac{\zeta^2 + 1}{2k_1\zeta}$
I	$T_I^* = \frac{k_1 T}{1} \frac{2n}{1}$	$T_I^* = \frac{2k_1 T_1}{1} \frac{1 + \zeta}{1}$
PI	$k_p^* = \frac{1}{k_1} \frac{n+2}{4(n-1)}$ $T_I^* = k_p^* \frac{4k_1 T}{3} \frac{n-1}{1}$	$k_p^* = \frac{\zeta^2 + 1}{2k_1\zeta}$ $T_I^* = k_p^* \frac{2k_1 T_1}{1} \frac{\zeta(1 + \zeta)}{\zeta^2 + \zeta + 1}$
PID	$k_p^* = \frac{7n+16}{16k_1(n-2)}$ $T_I^* = k_p^* \frac{16k_1 T}{15} \frac{n-2}{1}$ $T_D^* = \frac{T(n+1)(n+3)}{16k_p^* k_1(n-2)}$	$k_p^* \rightarrow \infty$ $T_I^* \rightarrow 0$ $T_D^* \rightarrow \infty$

2.9 Hardwarová a softwarová regulace a řízení

Tyto dva typy řízení a regulace umožňují různé možnosti výsledného chování řízeného hardware. Regulátory hardwarové jsou v tomto případě vhodné spíše pro manuální regulaci, kdežto regulátory softwarové umožňují větší variabilitu nastavení a zpětnovazebního řízení díky možnosti připojení a úprav signálu, jenž je snímán.

2.9.1 Hardwarové řízení

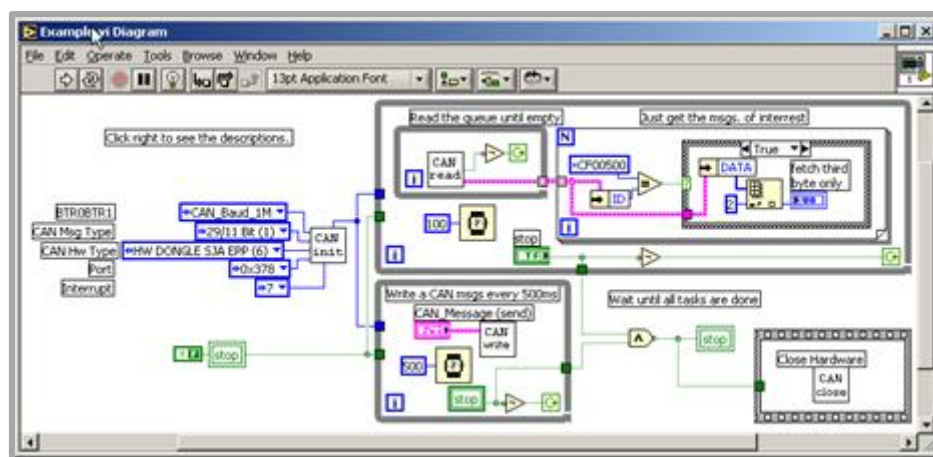
Existuje množství regulátorů jak se zpětnou vazbou, tak bez ní. Výhodou je že pro svoji funkci potřebují pouze počáteční nastavení a napájení. Jejich hlavní nevýhodou ale je, že regulace je vždy nastavena tak, aby správně fungovala pro určitou úlohu. U těchto regulátorů vzniká ale problém s dodatečnou změnou regulačních parametrů. Tato úprava, respektive nové nastavení, bývá totiž složitějšího charakteru.

Příkladem hardwarového regulátoru bez zpětnovazební regulace může být regulátor IRO 3400 umístěný na stanici pro testování převodovek v diagnostické laboratoři ÚK na VUT v Brně. Tento regulátor zde slouží k vyhlazování ovládacího napětí, které slouží pro řízení otáček pohonné jednotky. Ovládací napětí je generováno hardwarovým obvodem s potenciometrem, který pomocí proměnného vnitřního odporu určuje změnu výsledného ovládacího napětí. Aby tedy mohla na základě tohoto hardware být použita zpětnovazební regulace, je nutné do obvodu zavést další regulátor, který nahradí potenciometr a který bude ovládací napětí zpětnovazebně regulovat na základě měřených a požadovaných otáček. Je nutné tedy používat dva regulátory pro dosažení požadovaných otáček v automatickém režimu řízení.

2.9.2 Softwarové řízení – LabView

Přestože existuje řada aplikací pro řízení a regulaci, jako například aplikace pro programování průmyslových sběrnic, měřicích systémů a podobně, následující text se bude dále věnovat pouze prostředí LabView, které je licencováno na VUT a obsahuje prvky pro úkoly automatizace a regulace.

LabView je grafické programovací prostředí firmy National Instruments na jehož používání VUT v Brně vlastní licenci. Je vhodné nejen k programování systémů pro měření a analýzu signálů, ale také k programování velmi složitých systémů, jakými jsou třeba řízení robota nebo řízení částicového urychlovače v CERNu [26]. Vlastní program je reprezentován grafickým blokovým schématem. Zajímavostí je, že program neběží sekvenčně, ale výpočet je řízen tokem dat. Každá část programu zahájí výpočet teprve v okamžiku, kdy má data na všech vstupech. Procesy jednotlivých částí programu běží paralelně. Ukázka programu v LabView je zobrazena níže.



Obr. 20 Blokové schéma LabView [25]

Pro komunikaci LabView s měřicím zařízením je často využíváno ovladače NI-DAQ pro Windows. Balíček dnes obsahuje většinu zařízení pro sběr dat z hardwaru vyráběného firmou National Instruments a instalační velikost je téměř 1GB.

2.10 Hardware určený pro regulaci a řízení pomocí LabView

Firma National Instruments nabízí tři základní koncepce hardwaru pro měření dat. Koncepce jsou rozdílné ve vzorkovací frekvenci, ceně a platformě, na které běží. Dalším rozdílem je, že pro využití USB karty a PXI potřebujeme PC, ale CompactRio již dokáže pracovat samostatně. Nabízená řešení budou podrobněji zmíněna v následujícím textu [30].

2.10.1 NI USB měřicí karta

Firma National Instruments nabízí celou řadu USB karet, lišících se v počtu vstupů a výstupů nebo ve vzorkovací frekvenci. Každá karta obsahuje analogové a digitální vstupy a výstupy. Všechny analogové vstupy jsou přivedeny na AD převodník s postupnou aproximací, kde je pomocí multiplexeru mezi jednotlivými kanály přepínáno. Všechny analogové výstupy mají pouze softwarové časování a rozsah

výstupního napětí je od 0 do 5 V. Digitální linky dohromady tvoří jeden DIO port. Referenčním bodem je zde zem - GND. Linky lze programovat samostatně. Jedna z nejzákladnějších variant USB měřicí karty od firmy National Instruments je NI USB 6008. Tato karta umožňuje sbírat data s maximální rychlostí 10 kS/s. Karta obsahuje 8 analogových vstupů, 2 analogové výstupy, 1 counter, 4 digitální vstupy a 8 digitálních výstupů. Uvedenou kartu můžeme vidět na obrázku níže.



Obr. 21 NI USB 6008 [30]

2.10.2 PXI

Jedná se o platformu pro měření a automatizaci systémů. PXI je výkonná a relativně levná platforma, která má využití v široké oblasti použití, jako jsou výrobní zkoušky, vojenské a letecké monitorovací systémy, automobilový průmysl a další. PXI bylo vyvinuto v roce 1997 a uvedeno do provozu v roce 1998. Staví na architektuře CompactPCI s přidáním integrovaného časování a synchronizace. PXI vyžaduje minimálně 25 W zdroj pro každou obsazenou pozici. Firma National Instruments ve svém PXI nabízí tři typy hardwaru rozdělených dle vzorkovací frekvence. První konfigurací je základní řada. Tato varianta nabízí 250-500 kS/s pro sběr dat. Dalším typem je hardware s vysokou rychlostí sběru dat umožňující rychlost 1,25-2 MS/s. Jako poslední variantu firma National Instruments uvádí top řadu s vysokou přesností. Zde je vzorkovací frekvence srovnatelná se základní řadou, ale jsou získávána přesnější data. Hodnota rychlosti sběru dat je rovna 625 kS/s.



Obr. 22 NI PXI [30]

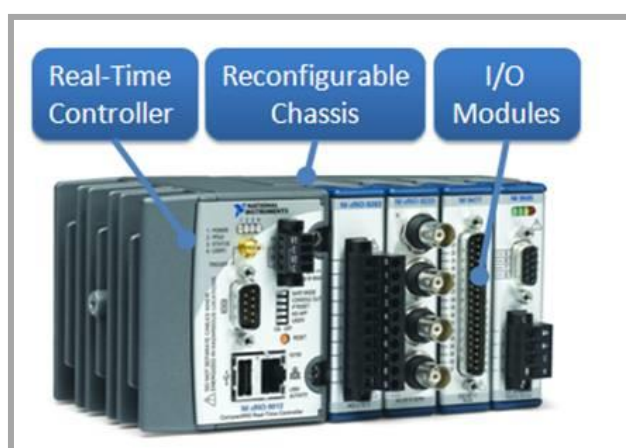
2.10.3 CompactRio

2.10.3

Architektura CompactRio nepoužívá žádné pevné disky a tedy je velice odolné vůči rázům a vibracím. Mezi jeho výhody také patří teplotní odolnost (od -40 do +70 °C). Komunikaci se zařízením lze uskutečnit i přes bezdrátovou síť WIFI. Není nutné žádné kabelové připojení, které v některých případech může být i neuskutečnitelné. Systém zajišťuje sběr dat, předzpracování a zaslání k dalšímu zpracování na osobním PC. Pro vlastní měření CompactRio využívá programovatelné hradlové pole FPGA s frekvencí 40 MHz.

Celé zařízení je složeno ze tří částí:

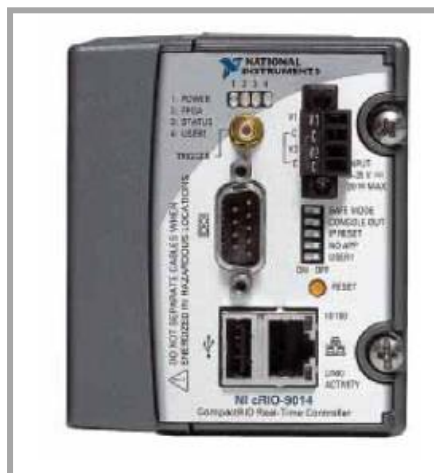
- Kontroléru reálného času
- Programovatelného hradlového pole (FPGA)
- Vstupně výstupních modulů



Obr. 23 CompactRIO [30]

○ **Kontrolér reálného času**

Jedná se o průmyslový procesor, který reaguje deterministicky¹ a spolehlivě. Vykonává kód aplikace vytvořené v LabView v Real-Time režimu a umožňuje řízení, záznam dat a komunikaci s periferiemi. Obsahuje zdroj hodinového signálu, hlídací časovače (hardwarové), Ethernetové porty, sběrnici USB a 2 GB paměti. Procesory můžeme dle výkonu nalézt v rozmezí od 400 MHz do 1,33 GHz.



Obr. 24 Kontrolér [30]

○ **Rekonfigurovatelná FPGA základna**

FPGA základna je přímo napojena na vstupně výstupní moduly, což umožňuje velmi rychlý přístup k informacím a minimální zpoždění. Programy spuštěné na kontroléru reálného času mohou bez speciálního nastavení využívat tento obvod pro přístup k datům v délce smyček 500 ns. Tato rychlost je s výhodou používána pro tvorbu řídicích programů. Jedna jednotka může vykonávat více než 20 řídicích smyček typu PID najednou s frekvencí 100 kHz pro každou z nich.



Obr. 25 Základna FPGA [30]

¹ Deterministicky = reaguje vždy na výstupu stejně, jak na vstupu (chová se předvídatelně)

○ Vstupně výstupní moduly

Vstupně výstupní obvody obsahují izolaci, převodní obvody pro úpravu signálu a rozhraní pro přímé připojení senzorů. Můžeme si vybrat z široké nabídky (okolo 50) vstupně výstupních modulů.



Obr. 26 Vstupně výstupní moduly [30]

2.10.4 Porovnání hardware od National Instruments

2.10.4

Architektura CompactRIO nepoužívá žádné pevné disky a tedy je velice odolné vůči rázům a vibracím. Mezi jeho

Tab. 4 Porovnání parametrů hardware od National Instruments

	USB NI 6008	PXI	CompactRIO
Vzorkovací frekvence	10 kS/s	2 MS/s	1,33 GS/s
Potřeba PC	ANO	ANO	NE
Cena	4000 Kč	80 000 Kč	180 000 Kč

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Stanice v laboratoři technické diagnostiky Ústavu konstruování potřebuje inovovat měřicí a řídicí hardware z důvodu zastaralosti použitého systému řízení. Na této stanici existují dva režimy ovládání. Systém manuálního řízení otáček pohonné jednotky funguje na principu manuální regulace otáček pohonné jednotky pomocí ovládacích potenciometrů. Automatické řízení je zde možné použít pouze řízení pomocí DOS programu. Toto řízení ale není na současných počítačích možno spouštět. Z tohoto důvodu bude tedy vytvořeno nové řízení stanice pomocí naprogramovaného software v LabView, které umožní jak manuální ovládání, s již integrovanou zpětnou vazbou kontroly otáček motoru a brzdného momentu, tak také řízení automatické pomocí souboru hodnot, jež uživatel dodává. LabView bude s výhodou použito také díky jednoduché možnosti upravení zdrojového kódu pro získání nových funkcí při případné potřebnosti doplnění měřicích čidel. Důležitým parametrem je také licence na software LabView, kterou VUT vlastní. Níže jsou přiloženy obrázky původního panelu řízení.



Obr. 27 Původní panel – přední část



Obr. 28 Původní panel – zadní část

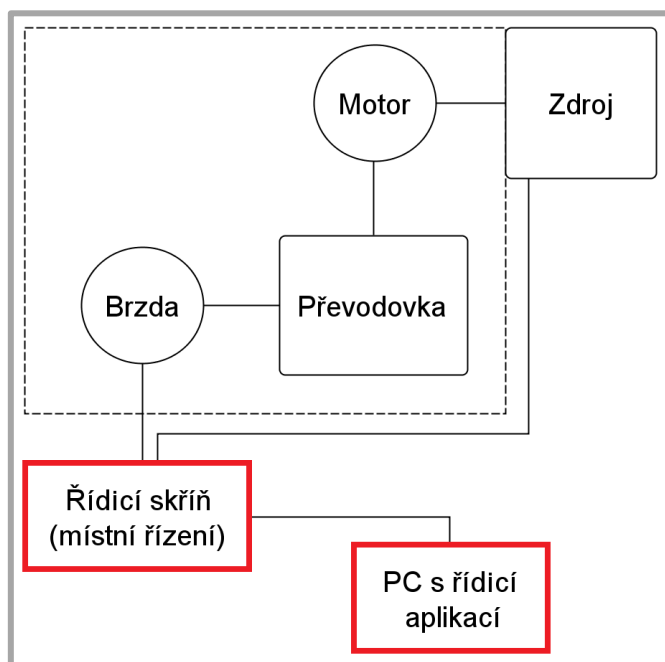
3.2 Cíl práce

Cílem práce je inovace stanice pro testování převodovek, jež spočívá v modernizaci řídicího hardwaru stanice a vytvoření nového řídicího software, který umožní používat stanici pro testování převodovek v daleko větším rozsahu provozních podmínek. Těmito podmínkami jsou myšleny zkoušky dlouhodobého charakteru a zkoušky, které pomocí vzdáleného plně automatického řízení také umožní dodržování podmínek testů bez nutnosti zásahu uživatele. Budou tedy moci být

prováděny testy s dynamicky měněnými parametry bez nutnosti doзору u stanice. Výsledkem provedených úprav bude získání univerzálního řešení pro testování převodovek, jež bude zpětnovazebně kontrolovat a řídit požadované otáčky a zatěžovací moment. Dalším cílem je také integrace záznamového mechanismu do vytvořeného řídicího software, aby bylo umožněno ukládání dat a případný post-processing naměřených dat.

4 VARIANTY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

Obrázek Obr. 29 zobrazuje rozvržení stanice pro testování převodovek, která je v laboratoři technické diagnostiky na Ústavu konstruování na VUT v Brně. Nejdůležitější částí pro modernizaci stanice je řídicí skříň a PC na kterém poběží naprogramovaná aplikace a proto jsou tyto dvě části zvýrazněné. Pro řídicí panel bude navržena nová koncepce hardware pro měření a řízení a na tomto hardware poté poběží měřicí a řídicí smyčka programu z PC.



Obr. 29 Rozvržení stanice pro testování převodovek

4.1 Návrh měřicího a řídicího řetězce

Na obrázku níže je vidět navržený měřicí a řídicí řetězec s tím, že hlavními měřenými parametry, které jsou potřebné pro zpětnovazební řízení, jsou otáčky pohonné jednotky a brzdný moment. Dalšími měřenými veličinami jsou otáčky dynamometru, teplota dynamometru a teplota převodovky.



Obr. 30 Měřicí a řídicí řetězec

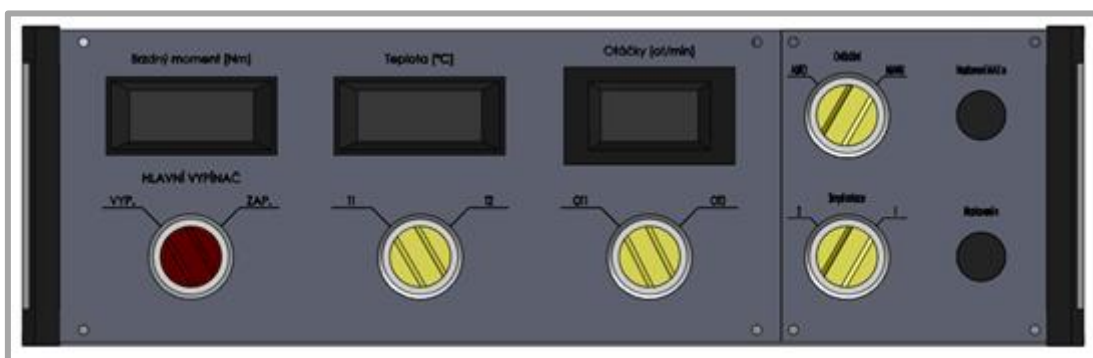
4.2 Návrh variant řídicího panelu

Byly navrženy dvě varianty řešení řídicího panelu, které mají koncepční rozdíl z hlediska zobrazovacího prvku. První variantou, která je zde zmiňována, je varianta, kde je použit univerzální zobrazovací display, který by musel být naprogramován. Byla by zde možnost display využít jako univerzální zařízení pro zobrazení všech měřených a řízených veličin. Nevýhodou by ovšem bylo, že by bylo nutné display nechat naprogramovat, což by zvýšilo náklady modernizaci řídicího panelu. Tato varianta byla inovací původní varianty z řešeného studentského projektu Řízení tyristorového regulátoru IRO 3400.



Obr. 31 Řídicí panel varianta 1.

Druhá varianta je koncepčně řešena tak, aby zobrazovací prvky zobrazovaly pouze potřebné veličiny. Tyto prvky jsou použity jen tři a není je nutné programovat, jelikož jsou to panelové voltmetry a čítač otáček. První display slouží pro zobrazení aktuálního brzdného momentu, druhý pro zobrazení teplot z čidel a poslední pro zobrazení otáček. Display teplot a otáček je následně doplněn o přepínač vstupů, což umožňuje zobrazení dalších 2 parametru navíc.



Obr. 32 Řídicí panel varianta 2.

Na obou variantách je použito manuální řízení, které bylo využíváno pro manuální řízení stanice pro testování převodovek před přestavbou řízení.

4.3 Čidla potřebná pro nový typ řízení

Všechny stanice, které jsou na vědecké a komerční úrovni používány pro testování převodovek a převodových ústrojí, mají společnou jednu věc. Typy měřených

a řízených veličin jsou přizpůsobeny zkoumaným úlohám. Výhodou tohoto řešení pak tedy je, že díky nízkým nákladům na pořízení snímačů a řídicího hardware je možné získat potřebnou techniku pro provádění předem známé úlohy. Pokud ale není předem známý typ měřené úlohy a stanice pro testování má být maximálně univerzální, je třeba rozhodnout o integraci různých druhů čidel a řídicího hardware, který umožní provádění různých typů zkoušek. Rešerše dále poukazuje na množství snímaných veličin a také používaného hardware, který je vhodný pro inovaci stanice na testování, jež je vlastněna Ústavem konstruování na VUT v Brně.

Stanice tedy bude osazena novými čidly, jež umožní snímání brzdného momentu, novým čidlem pro snímání otáček pohonu a dvěma teplotními čidly umožňující kontrolu proti přehřátí řízeného hardware. Důvod pro změnu čidla otáček motoru je, že pro lepší práci s čidly otáček a nastavení správného fungování řídicího HW je potřeba dostat pulzové napětí 12V v obou případech. Po integrování všech výše zmiňovaných čidel bude umožněno provádět dlouhodobé testy převodovek pomocí předem definovaných parametrů, které bude možné zpětně kontrolovat a dodržovat, což při současném stavu stanice možné není.

Čidlo pro snímání brzdného momentu bylo vybráno HBM S9. Tento tenzometrický snímač byl následně umístěn na místo původního snímače. Hlavním důvodem pro výměnu původního snímače byla jeho zastaralost a nepřesné měření při změnách teploty v průběhu zkoušek. Následně byla také zakoupena čidla pro snímání teploty. Byla vybrána čidla PT100, která mají lineární charakteristiku přírůstku odporu vzhledem k měnící se teplotě. Pro tato čidla bylo poté nutno zakoupit převodník odporu na napětí. Posledním čidlem bylo čidlo pro měření otáček. Původní čidlo bylo nahrazeno čidlem Carlo Gavazzi. Pomocí úprav systému byl dále také změněn počet měřicích bodů k jedné otáčce z 60 na 4 body.

Datesheety všech čidel, které byly použity, jsou součástí tištěných a elektronických příloh této práce.

4.4 Výběr řídicího hardware

Poté, co bylo rozhodnuto o použití softwaru LabView, pro naprogramování řídicího programu a je známý druh použitých čidel, může být také přistoupeno k výběru řídicího hardware. Výběr hardware bude probíhat na základě parametru cena/výkon s podmínkou, aby byl vlastněn Ústavem konstruování. Při výběru hardware je důležité také myslet na to, že rychlost vzorkování je mezi jednotlivá čidla rovnoměrně rozdělena. Rychlost vzorkování je tedy vydělena počtem připojených čidel. Výsledná rychlost dostupná pro jednotlivé kanály se následně dále dělí napůl, jelikož je zde podmínkou dodržet Niquistovu podmínku měření maximálně poloviční frekvence než je vzorkovací. Tabulka níže shrnuje hardware dostupný na ÚK včetně porovnání jeho parametrů.

Tab. 5 Tabulka porovnání cen řídicího hardware

	USB NI 6008	USB NI 6009	CompactRIO
Vzorkovací frekvence	10 kS/s	42 kS/s	1,33 GS/s
Potřeba PC	ANO	ANO	NE
Cena	4000 Kč	6 600 Kč	180 000 Kč

Při zvolení prakticky nelevnější varianty řídicího hardware dodávaného firmou National Instruments, kterou je USB karta NI USB 6008, se dostáváme na rychlost řízení 10 x/s. Zmiňovaná rychlost je z hlediska rychlosti reakcí stanice na požadovanou změnu plně dostačující a tuto kartu také Ústav konstruování má k dispozici. Karta NI USB 6008 bude tedy použita jako řídicí hardware pro měření a řízení stanice pro testování převodovek. S touto kartou bude možno dosáhnout maximálních měřených otáček $12\,500\text{ min}^{-1}$. Tato informace vychází z počtu použitých kanálů, celkem 5, rychlosti vzorkování karty, která je mezi jednotlivé kanály rovnoměrně rozdělena a počtu pulzů čidla otáček na jednu otáčku. Na kartě je možno využít celkem 8 analogových vstupů, a 2 analogové výstupy. Analogové výstupy budou použity pro řízení brzdného momentu a řízení otáček pohonu.

5 OPTIMÁLNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

5.1 Vlastní realizace řízení

5.1.1 Řídící obvod

Pro počáteční testování vytvořené řídicí aplikace byla použita testovací stanice z merkuru. V následujícím textu budou zmíněny komponenty, ze kterých se tato stanice skládá.



Obr. 33 Testovací stanice

USB karta NI USB-6008 je připojena k počítači pomocí rozhraní USB 2.0. Algoritmus řídicí aplikace, vytvořené v LabView, přijímá z karty analogová data ve formě napětí a tato data jsou poté vyhodnocena a upravena pro řízení ovládacím napětím dle uživatelem požadovaných parametrů. Toto ovládací napětí slouží pro ovládání otáček stejnosměrného motoru ze stavebnice MERKUR, před který je v obvodu zařazen zesilovač řídicího napětí. Tento zesilovač zesiluje napětí dvojnásobně, to znamená z maximálních 5V generovaných kartou na 10V. Do obvodu je dále zařazen snímač otáček Omron E3F2-DS30B4-P1 a napájecí zdroj, který napájí jak zesilovač napětí, tak i snímač otáček. Celá stanice tedy slouží k odladění chování aplikace naprogramované v LabView a pro přípravu na její použití pro řízení stanice pro testování převodovek.

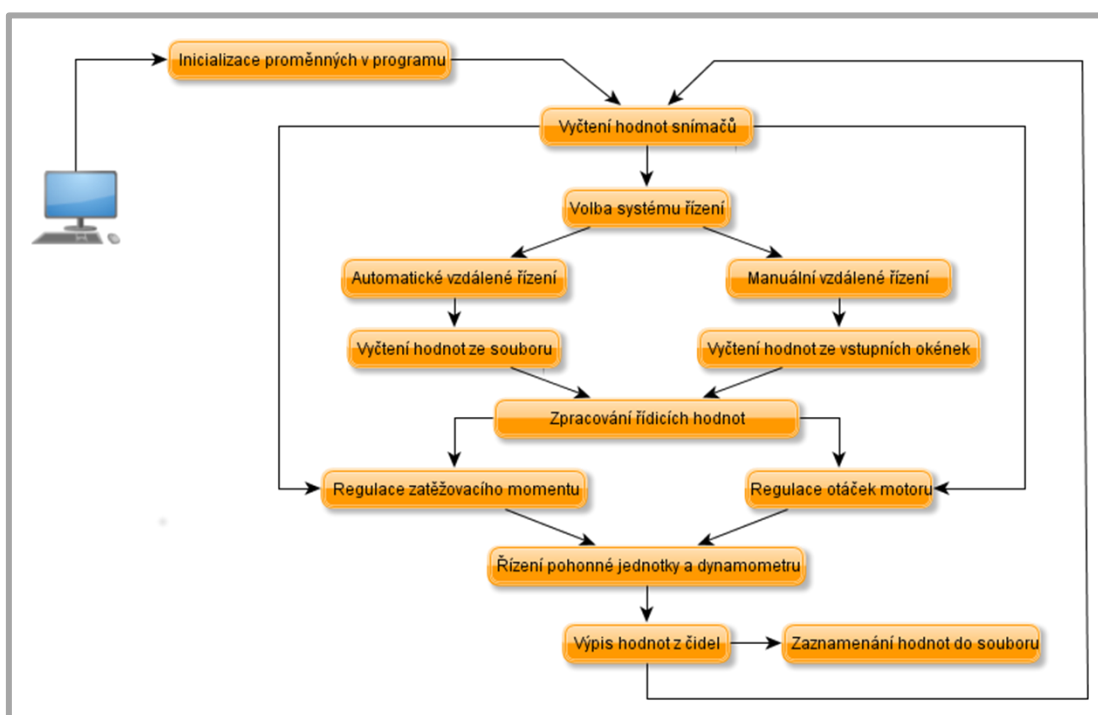
5.1.2 Specifikace problému

V této části práce bude vysvětlen princip funkce vytvořeného řídicího algoritmu včetně významu všech použitých konstant. Dále bude uvedeno připojení karty k řídicímu panelu stanice pro testování převodovek, která se nachází v laboratoři technické diagnostiky ÚK.

5.1.3 Popis řídicího algoritmu

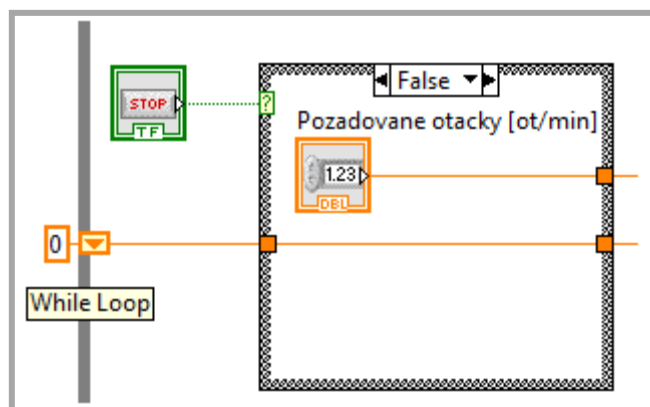
Pro lepší pochopení algoritmu psaného níže je nutné znát základy programování v LabView. Stěžejní základy byly získány z odborné literatury zabývající se programováním v LabView [31].

Algoritmus vytvořené řídicí aplikace má následující hierarchii vyhodnocení nastalých situací.



Obr. 34 Vývojový diagram řídicího algoritmu

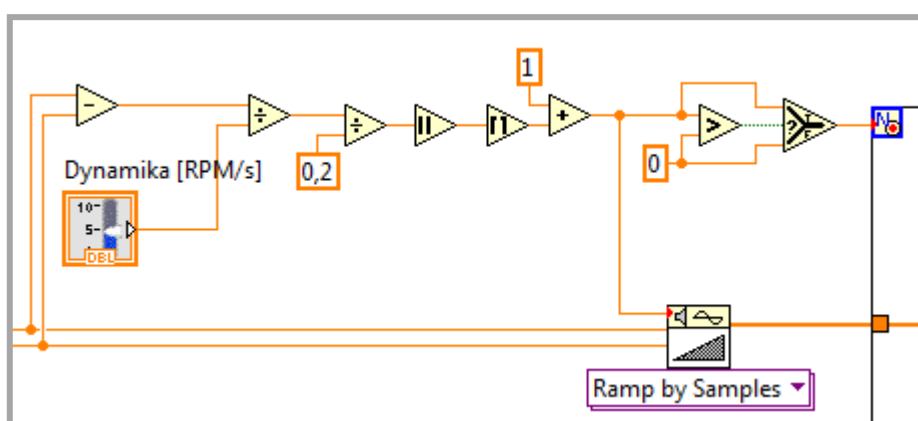
Program při jeho zpuštění vždy začíná nastavením používaných hodnot do výchozí pozice. Následuje vyhodnocení, jestli není zmáčknuo tlačítko Vypnutí aplikace nebo nehrozí přehřátí řízeného systému. Aplikace začíná vyčtením požadovaných otáček, které uživatel zadal buďto přímo do programu nebo pomocí textového souboru, jež byl načten do paměti. V opačném případě je zpuštěno nouzové snížení otáček a brzdného momentu a následně je celý běžící cyklus ukončen. Způsob Vypnutí aplikace bude popsán později.



Obr. 35 Vyčtení požadovaných otáček

Pojem Aktuální otáčky, jež bude použit níže, je hodnota uložená v shift-registru, jež zpřístupňuje uloženou hodnotu v každém provedeném cyklu. Jsou to tedy otáčky uložené ve vnitřním čítači, který je poté používán k vyhodnocení rozběhu, doběhu či ponechání aktuálních otáček. Tento čítač je průběžně měněn pomocí zápisu nových hodnot otáček, jež jsou programem generovány.

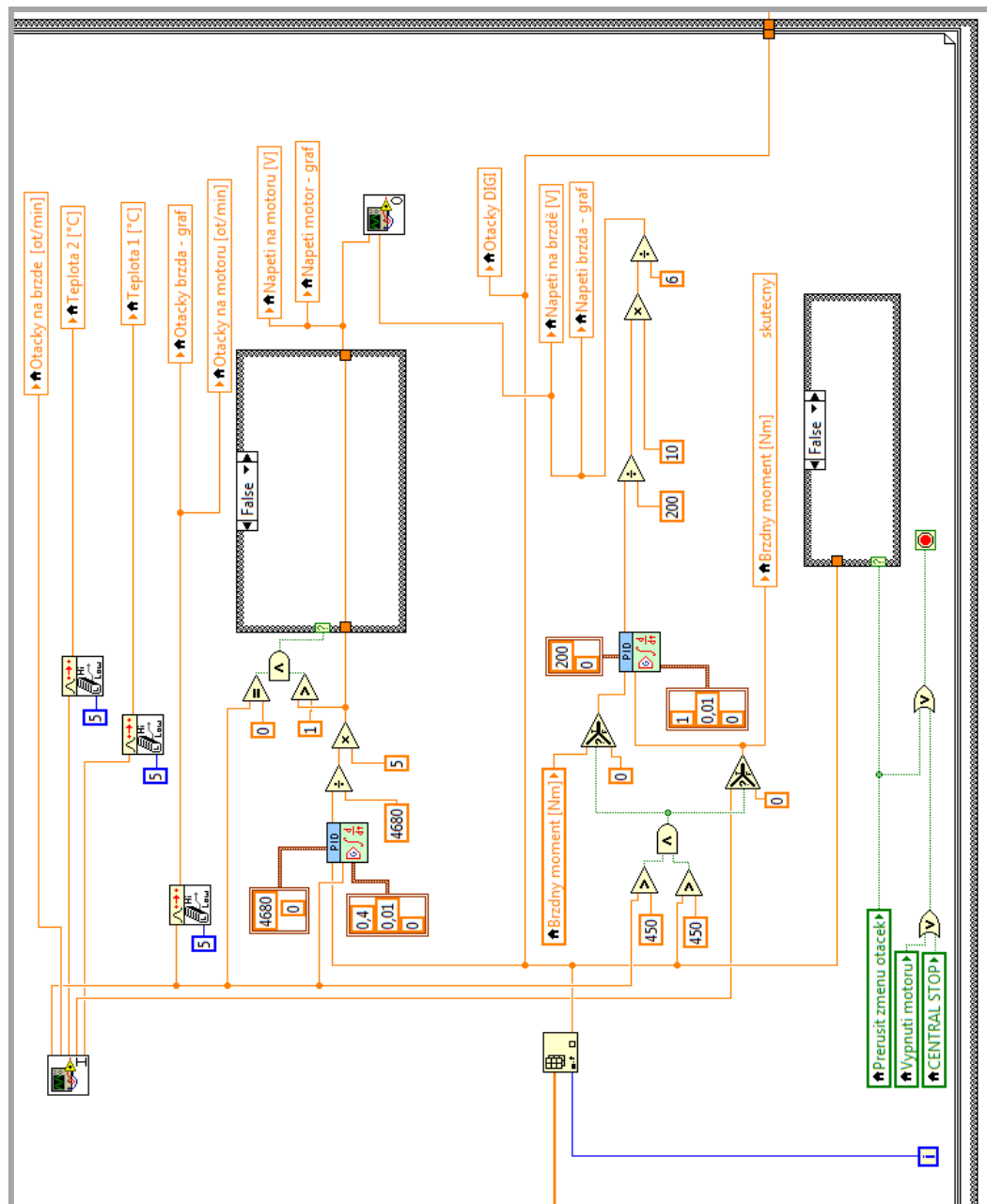
Algoritmus dále pokračuje výpočtem rozdílu požadovaných otáček zadáných uživatelem od otáček aktuálních. Výsledek této operace je poté vydělen požadovanou dynamikou změny. Následuje dělení hodnotou 0,2, což je hodnota rychlosti řízení systému. Výsledek je následně vložen do absolutní hodnoty (v případě snižování otáček bychom obdrželi zápornou hodnotu, což není žádané), zaokrouhlen na nejbližší vyšší číslo a povýšen o hodnotu 1. Všechny tyto úpravy jsou nutné z důvodu použití funkce rampa, do které vstupuje počet hodnot, které byly popsáním způsobem vypočteny a které musí být rovny minimálně dvěma. Další parametry vstupující do funkce rampa jsou požadované a aktuální otáčky, které jsou načteny z shift-registru. Poté proběhne vygenerování jednotlivých hodnot otáček a jejich odeslání do řídicího algoritmu v podobě pole hodnot. Stejné generování rampy hodnot probíhá také pro řízení momentu.



Obr. 36 Generování rampy hodnot otáček

Samotné řízení otáček pohonu stanice je provedeno pomocí FOR cyklu. Počet iterací FOR cyklu je stejný jako počet vygenerovaných hodnot otáček popsanych v minulém odstavci. Použitím stejného počtu provedení FOR cyklu jako počtu

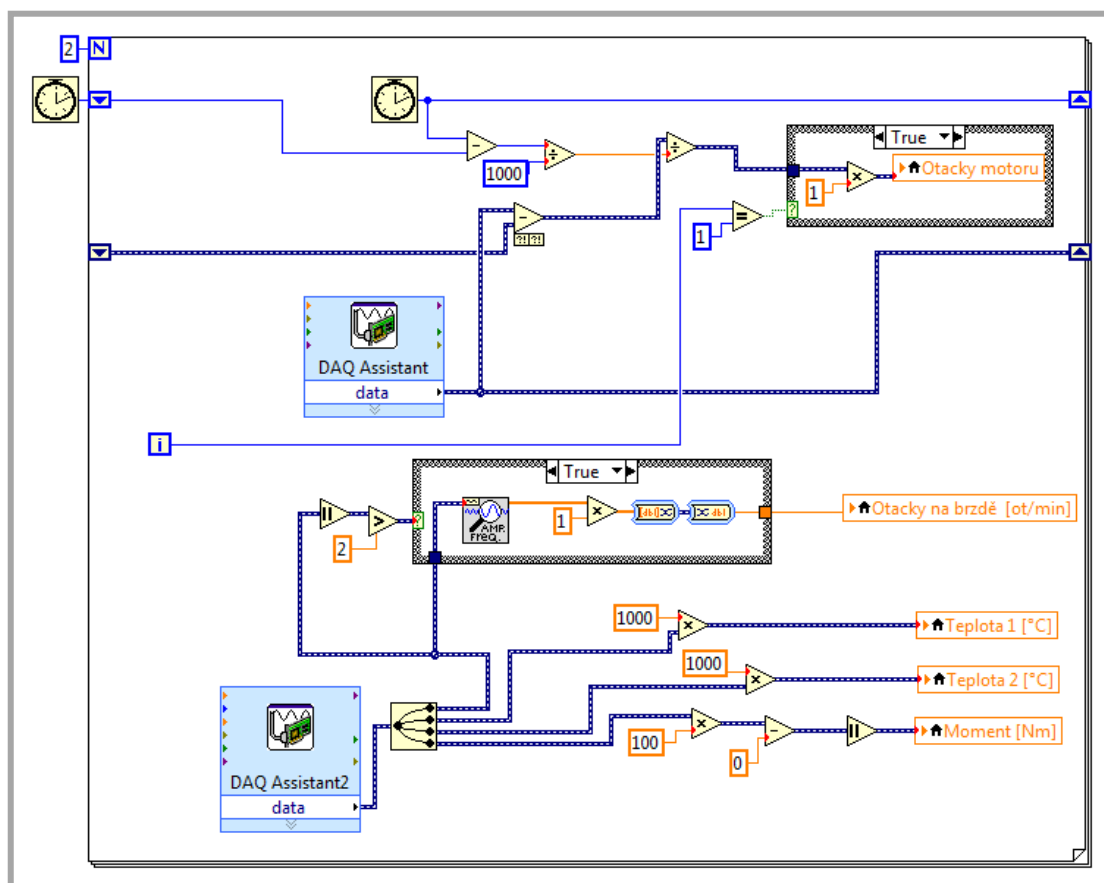
vygenerovaných hodnot otáček, zajistíme rychlost řízení 1x za 0,2 s, jak bylo zmiňováno výše a jak je požadováno. FOR cyklus obsahuje vyčtení hodnot z karty, zpětnovazebnou regulaci otáček a brzdného momentu a odeslání nových hodnot na výstup karty.



Obr. 37 Řízení otáček a momentu

Vyčtení hodnot z karty je prováděno samostatným podprogramem. Podprogram je opět prováděn cyklem FOR. Při zpuštění tohoto programu jako první proběhne vyčtení hodnot z analogových vstupů. Ze zmiňovaných vstupů jsou získány hodnoty otáček brzdy interpretované počtem snímaných pulzů a teplota 1, teplota 2 a brzdny moment, jež je interpretován hodnotou napětí snímaného měřicí kartě. Tyto hodnoty jsou poté upraveny kalibračními konstantami a odeslány do příslušných

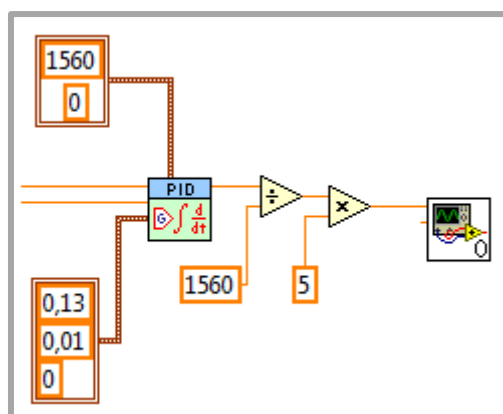
proměnných pro další zpracování. Nutné je také zmínit, že pro správné snímání otáček brzdy bylo nutné do algoritmu vložit filtrační prvek. Byla zde použita technika filtrování šumu pomocí nastavení prahu snímané hodnoty. Prahová hodnota byla nastavena na 2V, jelikož pod touto hladinou docházelo k šumění čidla při nulových otáčkách brzdy. Poslední hodnota, jež je kartou snímána, jsou otáčky motoru. Tato hodnota je získávána ze vstupu karty se jménem Counter. Zmiňovaný vstup counter, tedy čítač pulzů musel být použit místo analogového čtení otáček motoru, protože analogový vstup nestíhal dostatečně rychle vzorkovat snímanou frekvenci. Podvzorkováním tedy docházelo k chybnému snímání frekvence pulzů a tedy získání nekorektních dat. Získání otáček z counter vstupu probíhá dvojitým provedením cyklu FOR. V první iteraci cyklu se provede uložení aktuálního času do shift-registru a načte se číslo, které je na counteru. Toto číslo se taktéž uloží do shift-registru. Ve druhé iteraci se provede odečtení rozdílu času při prvním vyčtením dat z counteru a druhým jejich vyčtením a následné vydělení výsledků konstantou 1000. Hodnota této operace je poté dělitelem rozdílu otáček z prvního a druhého cyklu. Výsledek je následně zapsán do proměnné a celý podprogram tímto končí.



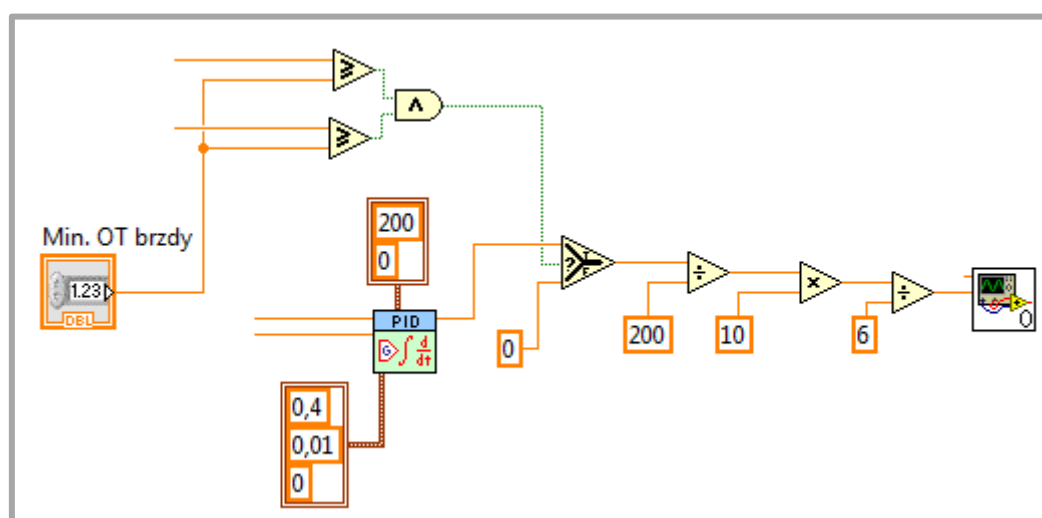
Obr. 38 Vyčítání hodnot z karty

Dále následuje zpětnovazební řízení otáček a brzdného momentu. Zpětnovazební řízení otáček je řízeno PI regulátorem s konstantou zesílení 0,13 a integrační konstantou 0,01. Tyto konstanty zaručily regulování regulátorem bez kmitání. Při použití hodnoty zesílení 2 již regulátor osciloval. Regulátor otáček je zde hlavně použit z důvodu doplnění o udržení nastavených otáček, které hardwarový

regulátor IRO neuměl dosáhnout, pokud byl celý systém zatížen brzdícím momentem. Dále probíhá zpětnovazební řízení brzdícího momentu. Pro regulaci brzdícího momentu jsou nastaveny konstanty následovně: konstanta zesílení je rovna 0,4 a integrační konstanta je rovna 0,01. Toto zpětnovazební řízení se provádí při otáčkách vyšších než 100 min^{-1} . Důvod použití zpětnovazební regulace při otáčkách vyšších než 100 min^{-1} je, že v nižších otáčkách, ve kterých se ani neprovádí žádné zkoušky převodovek, by mohlo dojít k poškození ovládací elektroniky motoru nebo brzdy. Je zde ale také možnost snížení těchto otáček pomocí uživatelského zásahu z důvodu umožnění měření i v nižších otáčkách pokud to bude požadováno. Typ zpětnovazební regulace je v obou případech typ PI, který pro ovládání používá složku zesílení a integrační složku. Po vyhodnocení aktuální situace regulátorem, na základě měřených a požadovaných hodnot, je pro brzdu i motor proveden přepoččet otáček a brzdícího momentu na řídicí napětí a tyto hodnoty jsou následně odeslány na kartu.



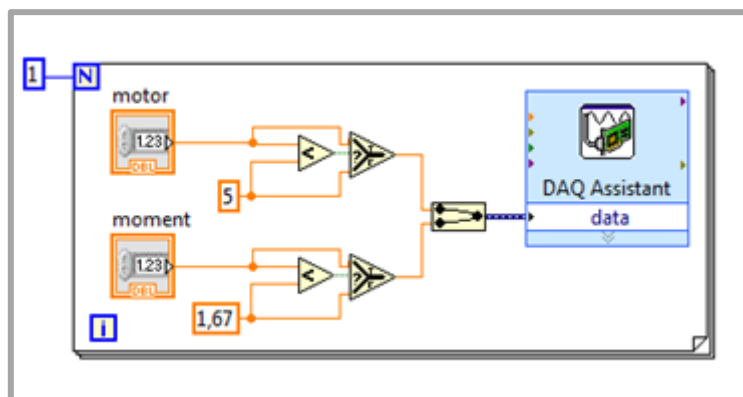
Obr. 39 Zpětnovazební regulace – řízení otáček



Obr. 40 Zpětnovazební regulace – řízení brzdícího momentu

Zpracování hodnot pro kartu opět vykonává samostatný podprogram. Podprogram obsahuje jednoduchý FOR cyklus, který se provede pouze 1x při požadavku na nastavení příslušného napětí na kartu. Jako ochrana jsou zde vloženy

maximální hodnoty, které mohou do karty vstupovat jako řídicí. Jsou zde z důvodu zamezení přetečení ovládacích parametrů, což by mohlo způsobit poškození řídicího hardwaru.

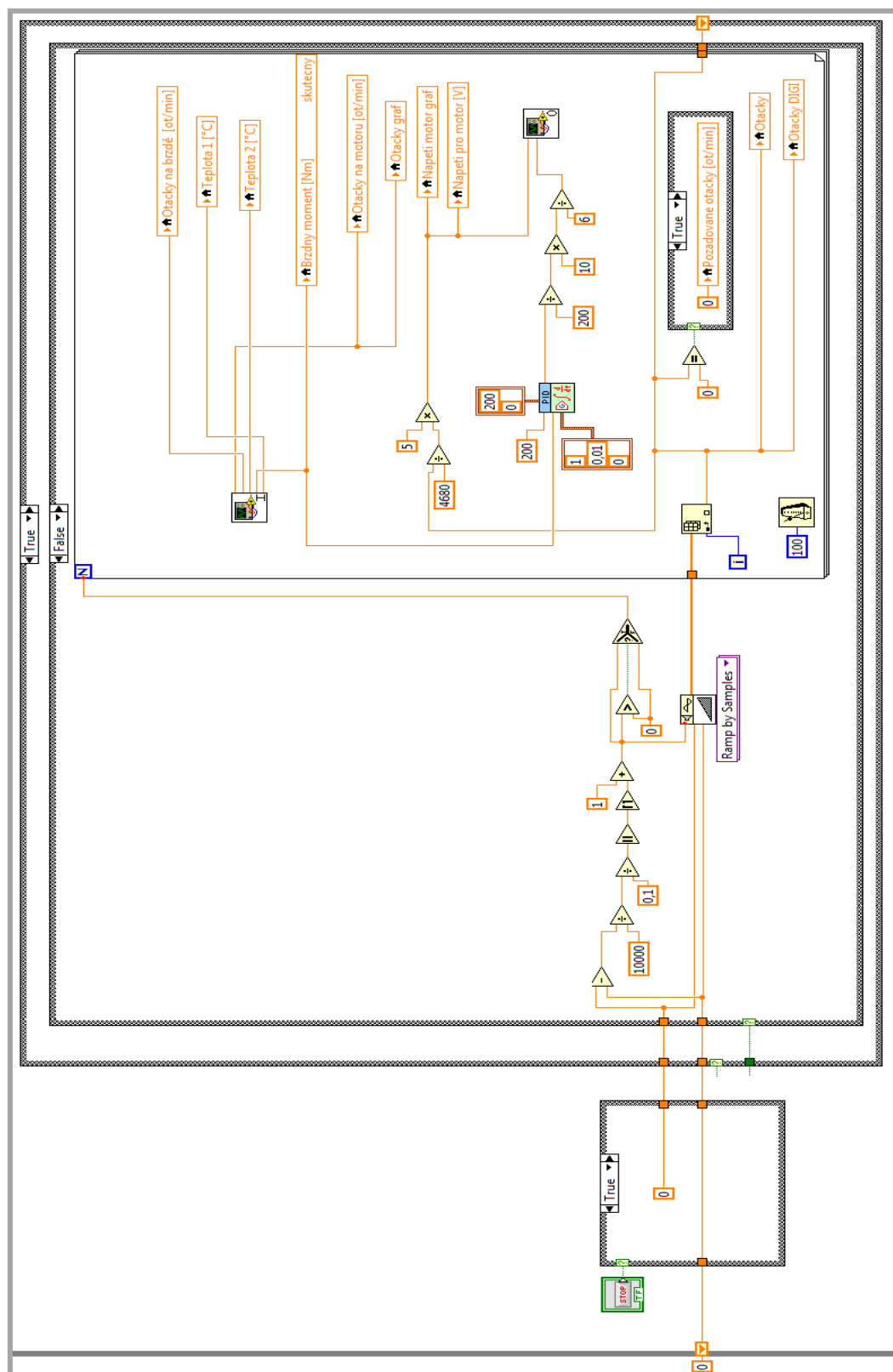


Obr. 41 Zápis hodnot na kartu

5.1.4 Bezpečnostní funkce algoritmu

Vytvořený algoritmus umožňuje přerušení změny otáček, v programu označováno jako FREEZ, kdy otáčky a brzdny moment setrvávají na aktuálních hodnotách. Vypnutí motoru, označováno jako STOP, pomocí odeslání požadavku na snížení otáček na 0 a Vypnutí aplikace, které zastaví motor a vypne běh programu. STOP a Vypnutí aplikace je provedeno pomocí velmi rychlého doběhu na 0 otáček, kdy se pro brždění doběhu používá původně nastavený brzdny moment. Před vypnutím běhu programu, pomocí tlačítka Vypnout aplikaci, je nutné dosáhnout nulových otáček a po dosažení těchto otáček je nastaven brzdny moment na 0 a program následně vypnut.

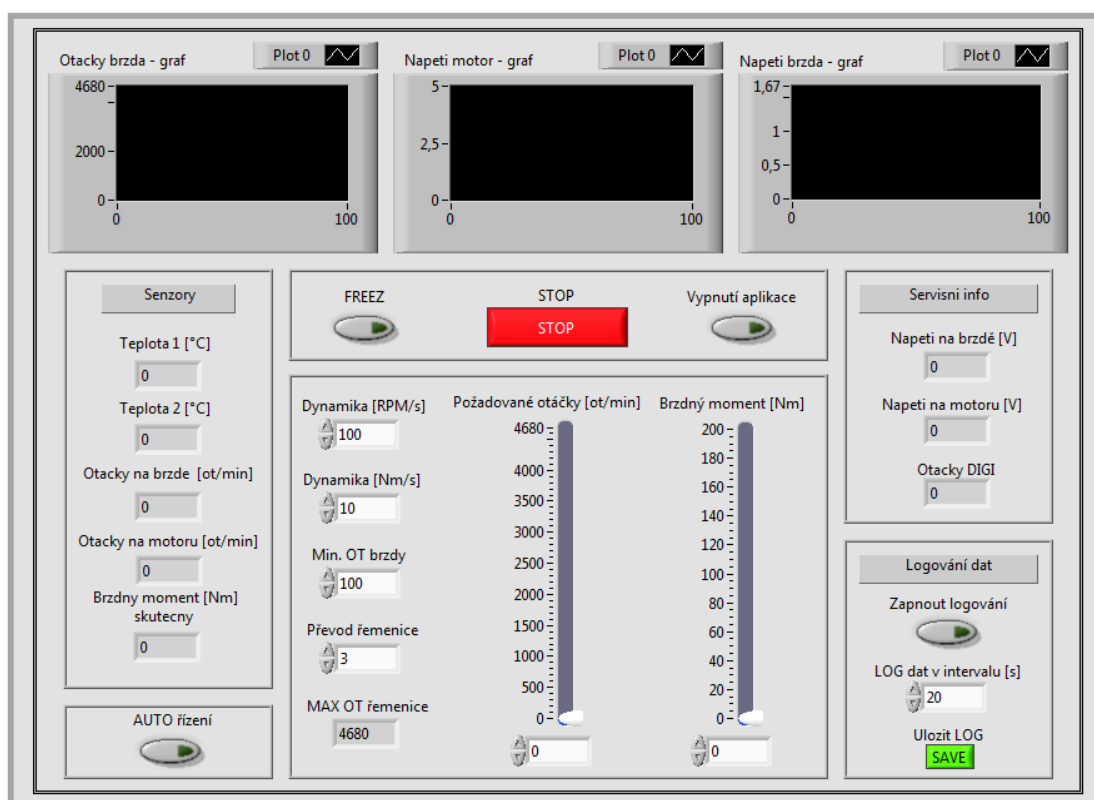
Další ochrany jsou integrovány přímo do programu a uživatel je na rozdíl od předchozích nemůže ovlivnit. Jsou to ochrany jako například vypnutí stanice, pokud při nulových otáčkách stanice nereaguje na požadovanou změnu otáček, již zmiňované řízení brzdneho momentu při otáčkách vyšších jak 100 min^{-1} (ve výchozím stavu) nebo ochrana proti přehřátí stanice, která zaručí její včasné vypnutí, aby nemohlo dojít k jejímu poškození.



Obr. 42 Vypnutí aplikace

5.1.5 Ovládací panel programu

Panel je rozdělen do několika částí. V první části vlevo jsou senzory, jež nám slouží pro informaci o testovací stanici. Druhá část, jež je v horní části panelu, zobrazuje vybraná data do grafů. Třetí část slouží pro nouzové ovládání stanice. Největší část ve středu panelu obsahuje řídicí prvky pro ovládání dynamiky změny otáček, otáček motoru a ovládání brzdného momentu. Pro aktivaci plně automatického řízení slouží tlačítko AUTO řízení, které je umístěno vlevo dole. Na pravé straně panelu jsou umístěny zobrazovače servisních informací, sloužících pro možnost zpětné kontroly běhu stanice a poslední částí panelu je část vpravo dole, jež je využívána pro nastavení zaznamenávání měřených dat.

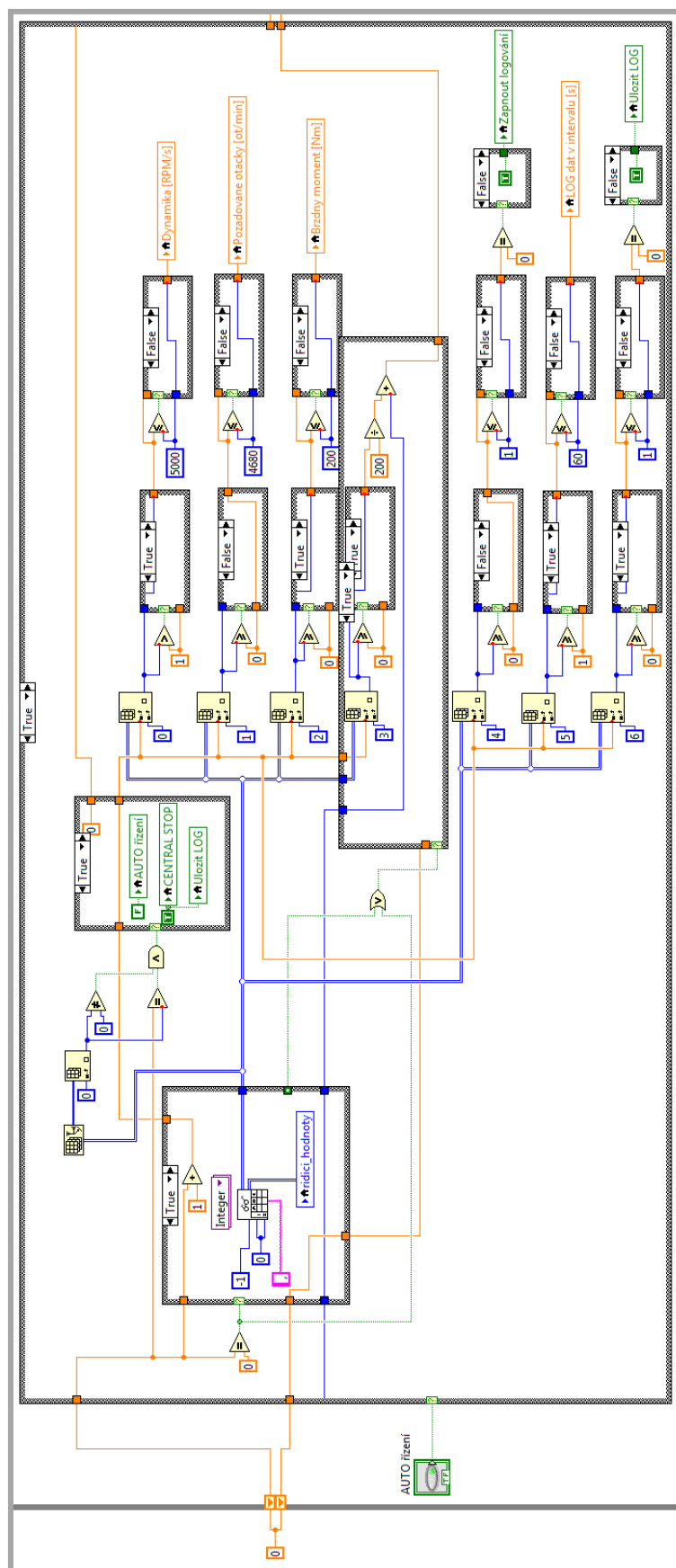


Obr. 43 Ovládací panel

5.1.6 Automatické řízení stanice

Automatické ovládání je umožněno pomocí dříve zmiňovaného tlačítka AUTO řízení. Při zmáčknutí tohoto tlačítka je pomocí vyskakovacího okna uživatel vyzván k načtení souboru hodnot, které požaduje provádět. Vložený soubor se poté načte do paměti a pomocí algoritmu je kontrolováno, jestli hodnoty, které se načítají, spadají do požadovaného intervalu. Pokud hodnota do funkčního intervalu nespadá, je nahrazena hodnotou maxima nebo minima, jež může být pro danou řídicí veličinu použita. Následně probíhá řízení pomocí upravených hodnot.

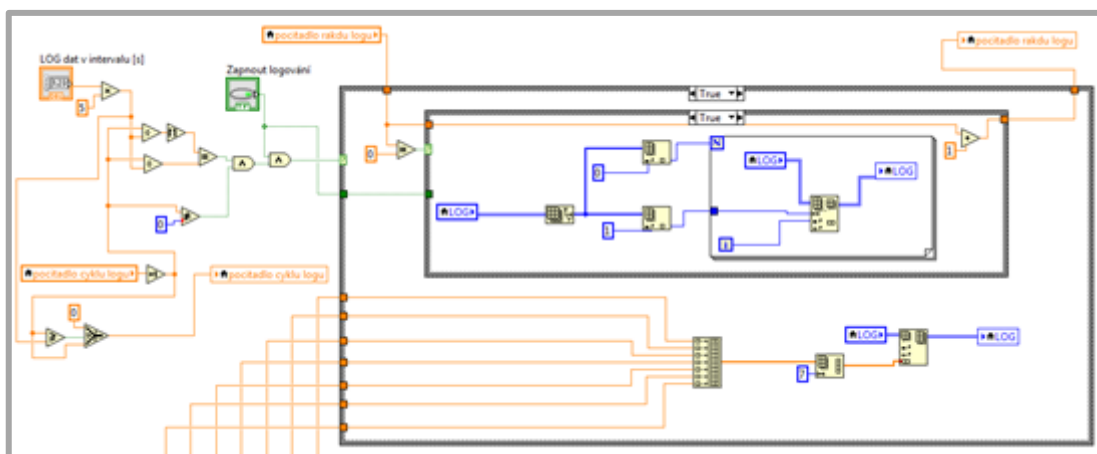
Hodnoty pro řízení se zadávají v následujícím pořadí: dynamika [RPM/s], otáčky [min^{-1}], brzdny moment [N/m], doba provádění [ms], zapisování do logu (0-ne, 1-ano), interval logování [s] a uložit log (0-ne, 1-ano), Dynamika [Nm/s]. Jako oddělovací symbol je zde zvolena „ , “.



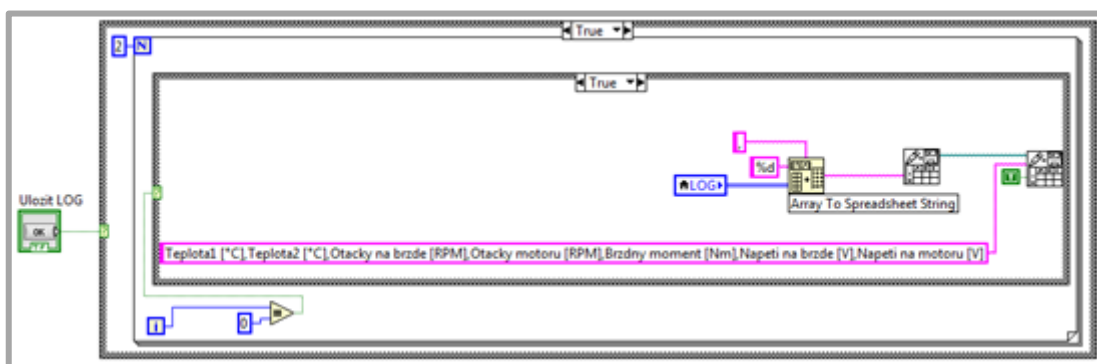
Obr. 44 Automatické řízení stanice

5.1.7 Záznam měřených dat do souboru

Celý cyklus záznamu dat je integrován do řídicího algoritmu, zobrazeného na obrázku Obr. 37. Rychlost záznamu dat může být prováděna maximálně 1x/s. Toto omezení je ale pouze softwarové. Hardwarově je možné dosáhnout maximální rychlosti záznamu dat až 5x/s. Softwarový záznam dat umožňuje přerušení zaznamenávání dat a následné znovuspuštění, kdy všechny naměřené hodnoty jsou ukládány do pole hodnot, které jsou zmáčknutí tlačítka SAVE uloženo do TXT souboru. TXT soubor je ukládán na základě uživatelem specifikovaného umístění, na které je před samotným uložením dotázán pomocí vyskakovacího okna. Sada jednotlivých změřených hodnot z každého intervalu měření, je reprezentována jednotlivými řádky souboru, kdy hodnoty na řádku jsou odděleny od sebe desetinou čárkou. Měření hodnot probíhá v celých číslech. Zaznamenané hodnoty jsou následující: teplota1 [°C], teplota2 [°C], otáčky na brzdě [RPM], otáčky motoru [RPM], brzdny moment [Nm], napětí na brzdě [V] a napětí na motoru [V]. Jako oddělovací symbol je zde opět zvolena „ , “.



Obr. 45 Záznam dat do pole hodnot



Obr. 46 Uložení pole hodnot do TXT souboru

5.1.8 Naladění konstant PI regulace

V poslední části úprav programu byly odladěny konstanty PI regulátorů otáček motoru a brzdného momentu přímo v laboratoři UK. Pro ladění konstant byla použita Metoda kritického zesílení regulátoru a Tab. 1 Optimální seřízení regulátorů podle Metody kritického zesílení. Postupným zvyšováním konstanty zesílení P bylo řízení

otáček motoru přivedeno k rezonanci. Výslednou hodnotou, při které systém řízení otáček rezonoval, byla hodnota 0,3. Tato hodnota byla vynásobena hodnotou 0,45. Výsledek 0,135 byl poté ručně doladěn na hodnotu 0,13 nastaven jako konstanta zesílení regulátoru. Následně byla pomocí záznamu dat a jeho zpracování změřena perioda kmitu rezonujícího systému. Naměřená hodnota byla rovna 0,117. Tato perioda byla následně vynásobena hodnotou 0,85, jak doporučuje Tab. 1. Výsledná hodnota 0,095 45 byla ručně doladěna na hodnotu 0,01 a poté nastavena do regulátoru jako integrační složka.

Stejným postupem byly získány konstanty pro PI regulaci brzdného momentu. Hodnota složky P byla získána 0,4 a hodnota složky I je rovna 0,01.

5.1.9 Zapojení čidel ke kartě a řídicí hodnoty

5.1.9

Správné zapojení kabeláže ke kartě znázorňuje tabulka níže. Důležitou částí tabulky je sloupec Zapojení, který označuje jak jednotlivé názvy připojovacích bodů na kartě, tak i jejich číslo. Toto zajistí snadnou orientaci v kabeláži připojené na kartu. Sloupec Typ určuje nastavení zapojení pro LabView. Tabulka také zobrazuje hodnoty, které se dají zadat nebo jsou jinak omezeny.

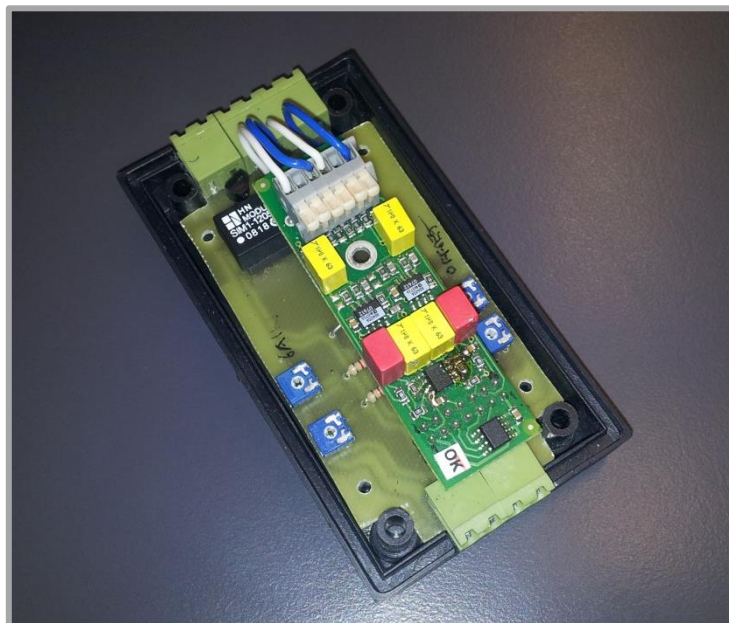
Tab. 6 Připojení kabeláže ke kartě a řídicí hodnoty programu

	Název veličiny	Zapojení	Typ	Napětí [V]	Hodnoty v programu
Výstupy	ovládání motoru	ao0+ (14) GND (13)	RSE	0-5	0- ∞ [min ⁻¹]
	brzdý moment	ao1+ (15) GND (16)	RSE	0-1,67	0-200 [Nm]
Vstupy	dynamika	x	x	x	1-10 000 [RPM/s]
	dynamika	x	x	x	1-200[Nm/s]
	otáčky	x	x	x	0- ∞ [min ⁻¹]
	brzdý moment	x	x	x	0-200 [Nm]
	min OT brzdy	x	x	x	1-1 000 [min ⁻¹]
	otáčky na brzdě	ai0+ (2) GND (1)	RSE	x	∞
	teplota 1	ai1+ (5)	RSE	0-5	∞
	teplota 2	ai2+ (8)	RSE	0-5	∞
	brzdý moment	ai3+ (11) GND (10)	RSE	0-2	∞
	otáčky na motoru	PFIO+ (29) GND (32)	CountEdges	0-5	∞

5.2 Kalibrace snímačů

5.2.1 Kalibrace snímačů teploty PT100

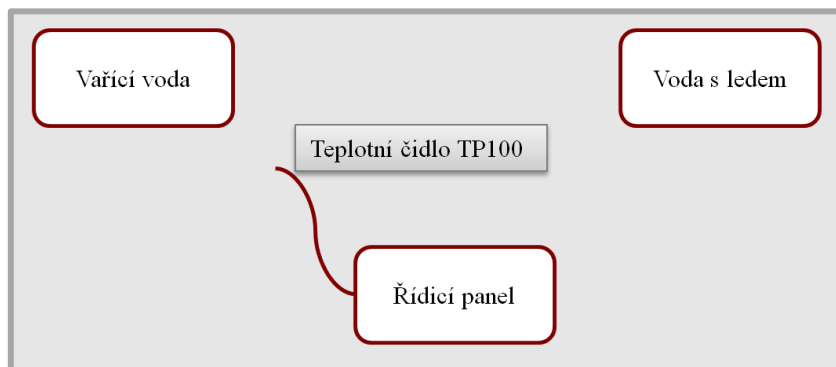
Odporové snímače PT100 jsou určeny pro přesné měření teploty v rozsahu -200 až +800 °C. Principem funkce je změna elektrického odporu platinového drátu v závislosti na teplotě. Jelikož měřicí karta NI USB 6008 neumí měřit odpor, bylo nutné provést převod na jinou měřitelnou veličninu. Tento převod byl uskutečněn přes analogový převodník ZR100 od firmy SofCon.



Obr. 47 Převodník ZR100

Výstupem z převodníku je napětí. Toto napětí následně bylo korigováno tak, aby korigovaná hodnota napětí odpovídala přímo měřené teplotě.

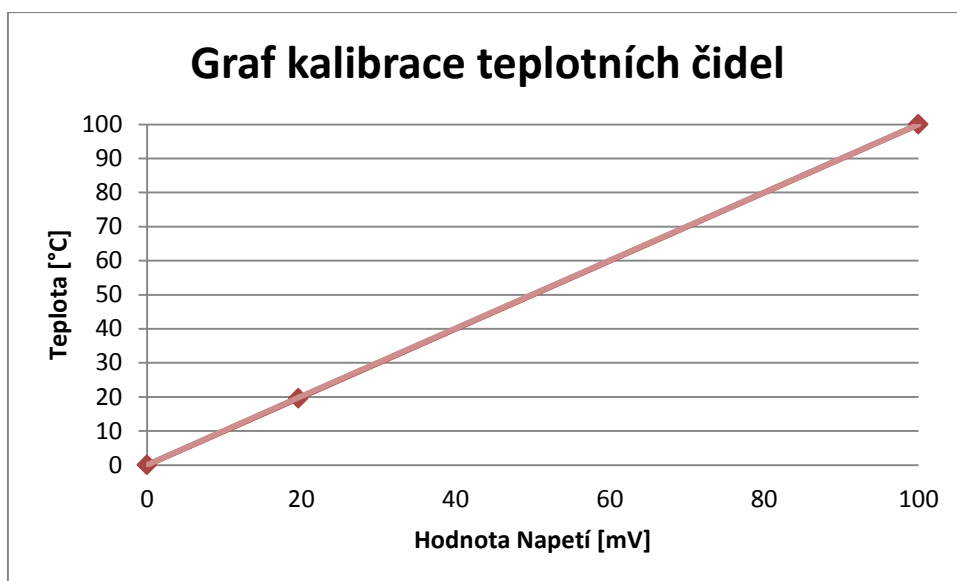
Kalibrace teplotních čidel probíhala přímo na sestaveném panelu. Pomocí vařící vody a ledu, bylo čidlo střídavě vystavováno teplotě 100°C a teplotě bodu mrazu 0°C. Při tomto procesu bylo průběžně měněno zesílení a offset výstupní hodnoty převodníku do té doby, než panelový voltmetr ukazoval správné hodnoty, tedy hodnotu 0° a 100° reprezentovanou 0V a 100mV. Niže můžete vidět schematicky znázorněnou kalibraci teplotních čidel.



Obr. 48 Schematická kalibrace teplotních čidel

Po zkalibrování prvního čidla byl stejný proces opakován pro kanál s druhým čidlem. Výslednou kalibrační rovnicí je:

$$T [^{\circ}\text{C}] = U [\text{mV}]$$



Graf 1 Kalibrace teplotních čidel

Výhodou manuálního nastavení offsetu a zesílení je také to, že hodnoty vystupující z převodníku nepotřebují ve vytvořeném software další korekci. To znamená, že měřená hodnota v software již reprezentuje námi zjišťovanou veličinu.

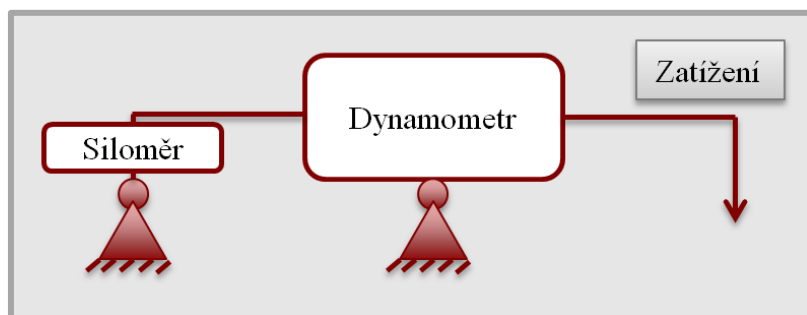
5.2.2 Kalibrace tenzometru HBM S9

5.2.2

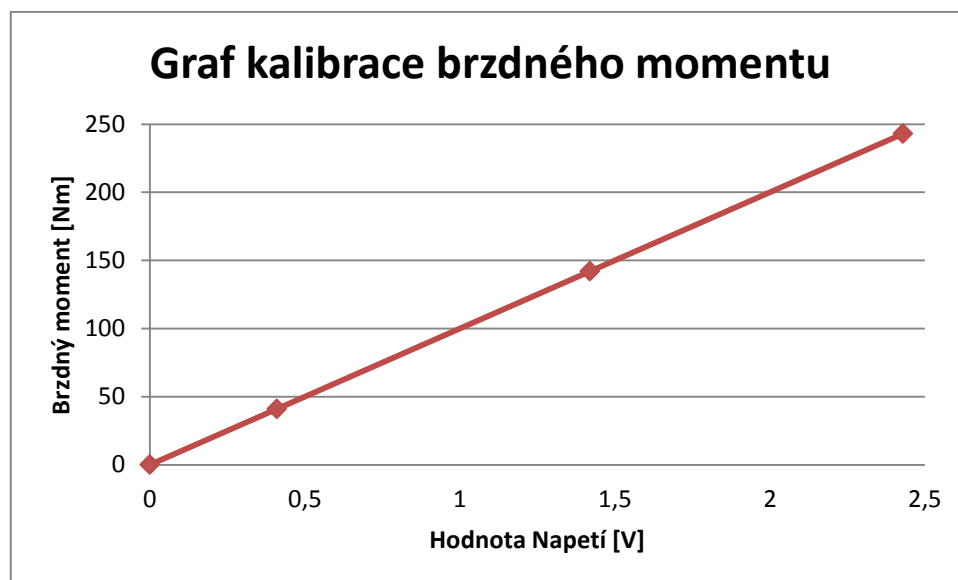
Jedná se o pasivní elektrickou součástky používanou k nepřímému měření napětí na povrchu součásti prostřednictvím její deformace. Na měřicí stanici je použit tenzometr HBM S9. Referenční napětí tenzometru je 5 V. Provozní rozsah napájení je v rozmezí 0,5 až 12 V. Zesilovač momentu generuje při 0 N hodnotu 0 V, každý další 1 V změny symbolizuje 100 N. Kalibrační konstantou ve vytvořeném software je násobek výstupní hodnoty hodnotou 100. Výslednou kalibrační rovnicí tedy je:

$$M [\text{Nm}] = U [\text{mV}] * 100$$

Ověření správné funkce probíhalo dle schématu níže.



Obr. 49 Schématická kalibrace tenzometrického čidla HBM S9



Graf 2 Kalibrace čidla brzdného momentu

5.2.3 Kalibrace senzorů otáček

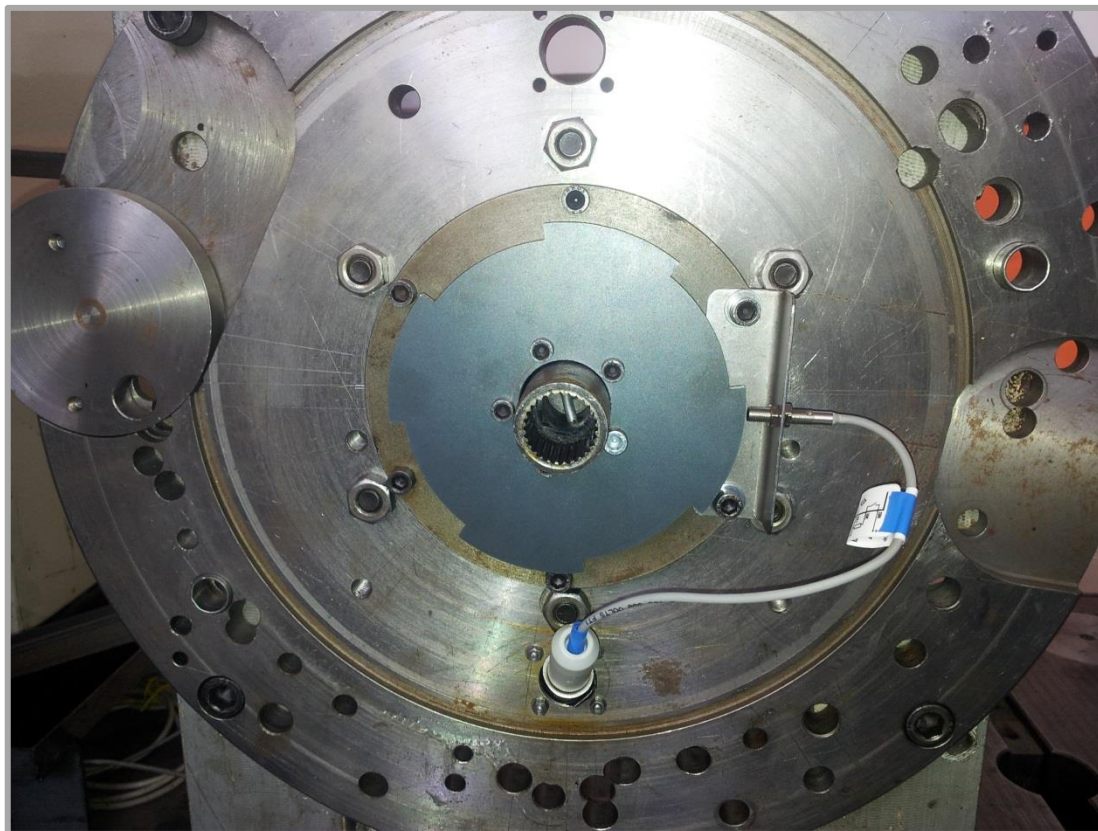
Indukční snímače představují rozsáhlou skupinu pasivních snímačů. Měřená neelektrická veličina je snímána a převedena na změnu indukčnosti cívky.

Pro měření otáček převodovky a dynamometru byly použity snímače Carlo Gavazzi IA05BSF10POP. Jedná se o snímače se spínací vzdáleností 1mm. Napájení snímačů je v rozmezí 10 až 30 VDC. Čidlem protéká jmenovitý proud 200 mA. Maximální četnost pracovních cyklů je 2000 Hz. Tedy může sepnout za 0,0005 s. Provozní teplota je v rozmezí -25 až 70 °C. Celý senzor je umístěn v krytu z nerezové oceli. Senzor je použit pro měření otáček na dynamometru a pro měření otáček na převodovce.

Zmiňované snímače potřebovaly nové měřicí součásti, které byly vyrobeny na laseru z materiálu 11500 o tloušťce 4mm. Tyto součásti můžete vidět na obrázku Obr. 50 a Obr. 51. Vyrobené kusy po montáži zajistily změnu počtu měřicích bodů z původních 60 na jednu otáčku na 4 na jednu otáčku.



Obr. 50 Pohled na výslednou koncepci funkce čidla otáček na dynamometru



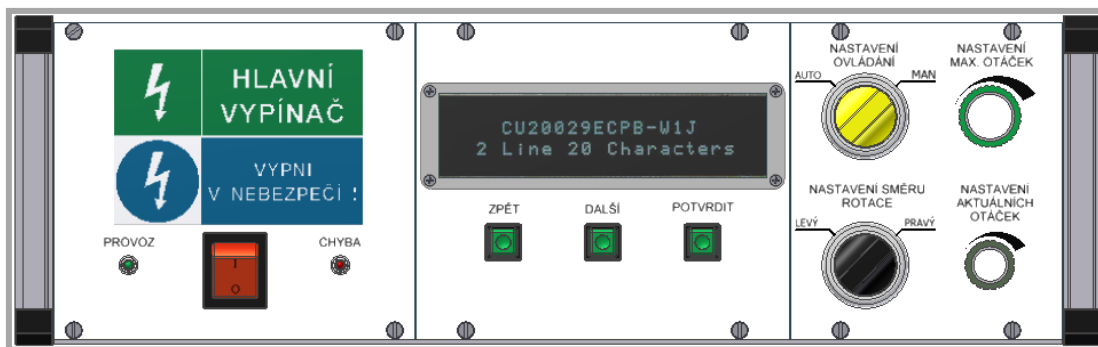
Obr. 51 Pohled na výslednou koncepci funkce čidla otáček na převodovce

5.3 Konstrukce sdruženého panelu pro manuální ovládání

Nový druh řízení zkušební stanice byl neslučitelný s původním panelem pro manuální ovládání stanice. Z tohoto důvodu bylo přikročeno k jeho modernizaci. Výchozím bodem pro realizaci nového panelu byl konstrukční návrh, který byl součástí projektu s názvem Řízení tyristorového regulátoru IRO 3400, zpracovávaného studenty oboru Konstrukční inženýrství na FSI VUT v Brně v zimním semestru akademického roku 2011/2012.

5.3.1 Přepřacování panelu pro ruční řízení

Požadavky na finální podobu panelu se od konstrukčního návrhu částečně lišily, takže bylo nutné provést několik konstrukčních úprav. Hlavním rozdílem byl požadavek na přední část panelu. V původní koncepci byl použit dvouřádkový displej s tlačítkovými spínači pro ovládání. Tento displej byl umístěn ve střední části předního panelu. V levé části panelu byl obsažen vypínač s varovným štítkem a indikačními LED diodami informujícími o chodu, případně poruše zařízení. Původní návrh můžete vidět na obrázku níže.



Obr. 52 Původní návrh panelu pro ruční řízení

Při návrhu panelu byl kladen důraz především na snadné ovládání a nastavení panelu. Z tohoto důvodu byl dvouřádkový displej nahrazen samostatnými zobrazovacími jednotkami. Na každém zobrazovacím zařízení je zobrazena jedna sledovaná veličina a není nutné složité programování původně uvažovaného displeje. K displejům na nichž je zobrazován moment a teplota jsou připojeny otočné přepínače, pomocí kterých dochází ke změně sledovaného místa. V rámci zachování jednotného vzhledu předního panelu jsou otočné přepínače stejné jako dva již použité, které slouží ke změně ovládaní a změně smyslu rotace. Stejný přepínač byl použit i jako hlavní vypínač zařízení. Jako zobrazovací zařízení pro teploty a momenty jsou použity panelové digitální voltmetry s označením HD-3129A. Tyto panelové voltmetry jsou zvolené pro měřicí rozsah 0-200mV, pro měření teploty, a 0-20V, pro měření brzdného momentu. Na jejich napájení je potřeba 9 V zdroj stejnosměrného napětí s oddělenou zemí, čehož je dosaženo pomocí dvou DC/DC měničů z 12V na 9V. Galvanické oddělení zemí je zajištěno pomocí DC/DC měničů AM1S-1209SZ. Měniče byly použity celkově dva a díky tomu bylo možné použít pouze jeden napájecí zdroj ZSR-30.



Obr. 53 Panelový voltmetr HD-3129A

Pro zobrazení otáček je použit otáčkoměr CT14 od firmy ZM Electronics. Tento otáčkoměr je poté napájen zdrojem napětí ZSR-30 hodnotou stejnosměrného napětí 24 V.



Obr. 54 Otáčkoměr CT14

Panel dále obsahuje převodník odporu na napětí pro měření teploty pomocí teplotních čidel PT100. Zmiňovaný převodník je napájen 12 V zdrojem stejnosměrného napětí. Poslední hardwarovou částí panelu je zesilovač napětí čidla brzdného momentu. Tento zesilovač je také napájen 12V zdrojem napětí.

Uvnitř skříně je upevněna měřicí USB karta, která je přes svorkovnici a zesilovače propojena s konektory na zadní straně skříně. Do těchto konektorů jsou přivedeny signály ze snímačů umístěných na zkušební stanici. Ze stejné svorkovnice jsou přivedeny signály i do displejů v přední části panelu.

Napájení zesilovačů a displejů je zajištěno zdrojem ZSR-30 umístěného uvnitř ovládací skříně. Zdroj ZSR-30 disponuje nastavitelným stejnosměrným napětím s aktuální nastavenou hodnotou 12 V, 24 V stejnosměrným napětím, jež upravováno výt nemůže, a střídavým napětím 24 V.



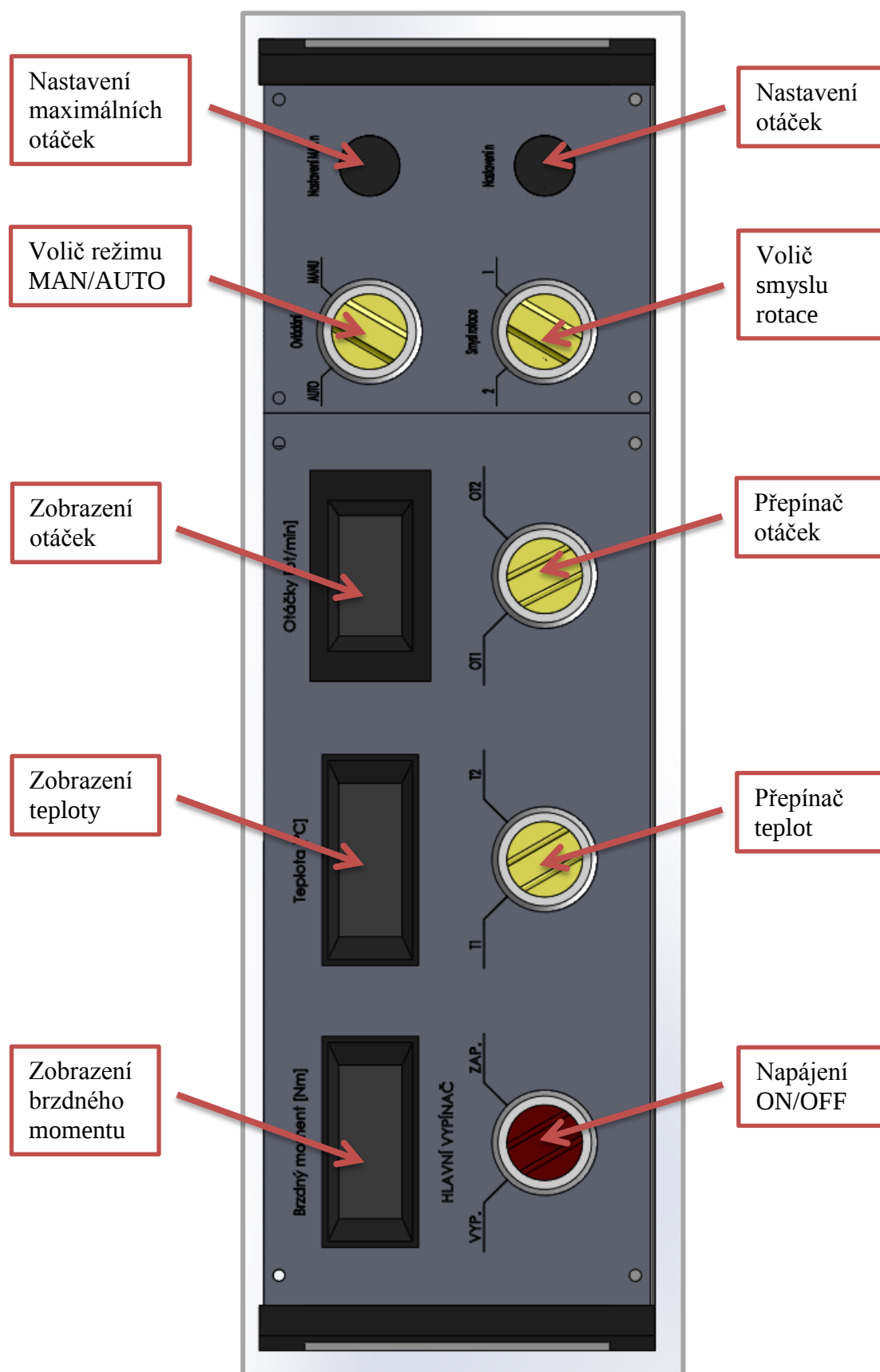
Obr. 55 Napájecí zdroj ZSR-30

Tabulka Tab. 7 zobrazuje napájecí parametry jednotlivých součástí panelu.

Tab. 7 Napájení součástek

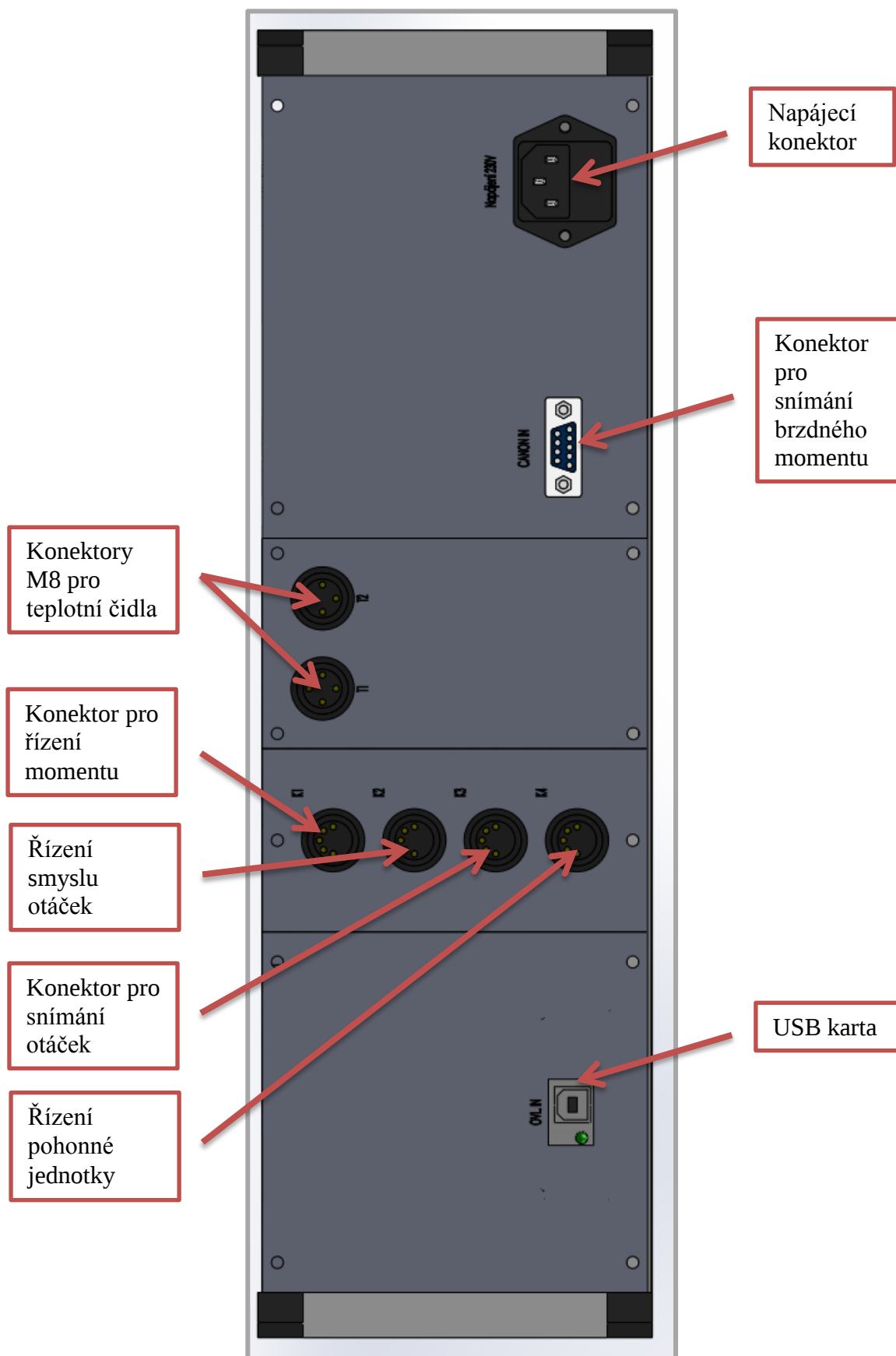
Součástka	Napájecí napětí	Napájeno z
Panel voltmetru HD-3129A	9 V DC	Galvanického oddělovače zemí
Otáčkoměr ZME Z14	24 V DC	Zdroj napětí ZSR-30
Převodník teploměrů	12 V DC	Zdroj napětí ZSR-30
Zesilovač snímače momentu	12 V DC	Zdroj napětí ZSR-30
Galvanické oddělení zemí	12 V DC	Zdroj napětí ZSR-30
Čidla otáček	12 V DC	Zdroj napětí ZSR-30

Po výběru jednotlivých komponent a návrhu jejich napájení bylo vytvořeno finálové rozložení přední části panelu, které je k náhledu níže. Přední část obsahuje dva panelové voltmetry, které zobrazují brzdny moment, měřený čidlem HBM-S9, a teplotu čidel PT100. Posledním displejem je otáčkoměr. Pod displeji (zleva) se nachází otočný vypínač pro vypnutí / zapnutí síťového napájení panelu, dále přepínač pro změnu měřeného místa u zobrazení teplot a přepínač pro změnu měřeného místa u zobrazení otáček. Pravá část předního panelu je převzata z původní verze řídicího panelu. Na této části byla provedena modernizace popisků jednotlivých součástí.



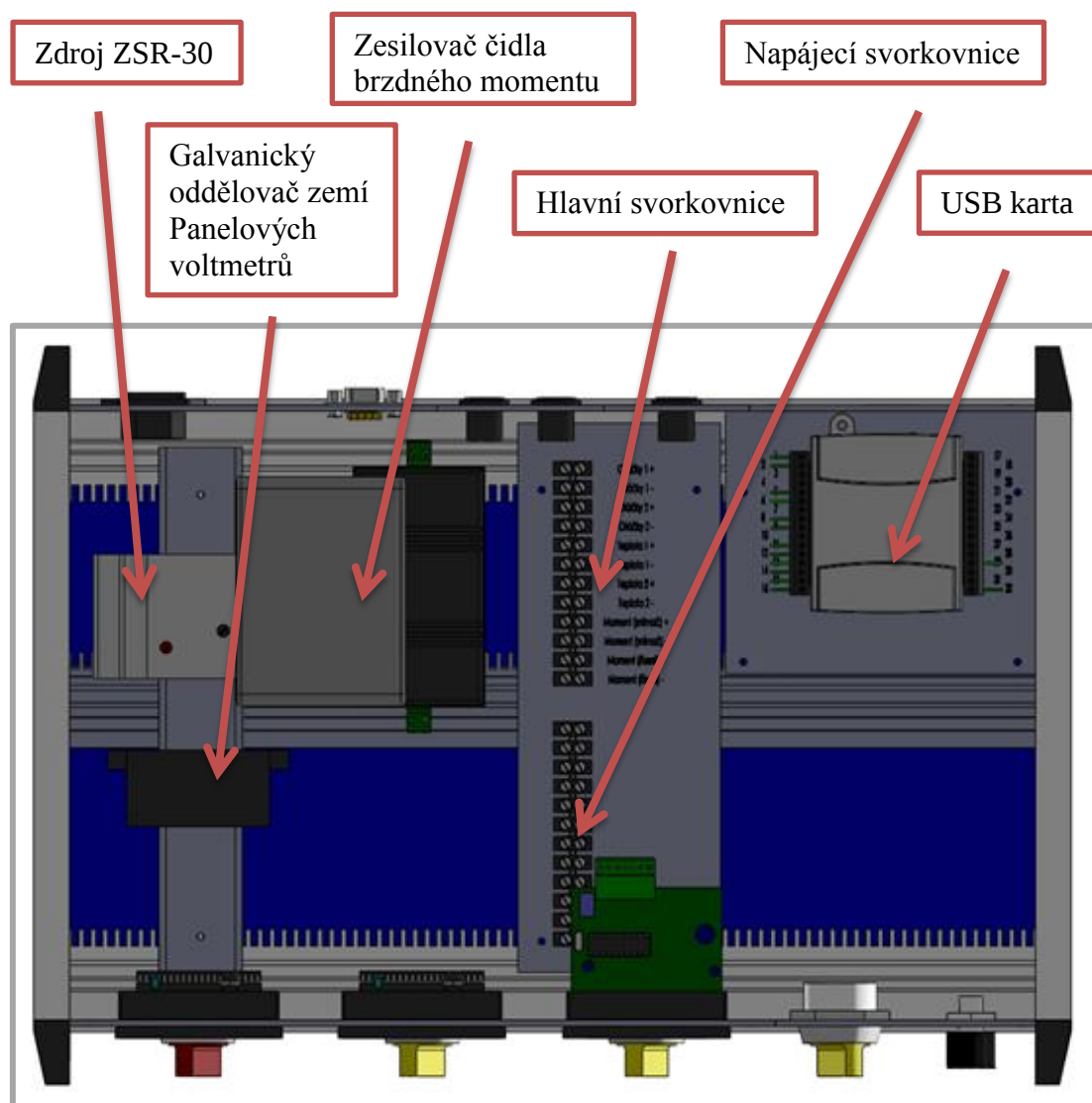
Obr. 56 Výsledný vzhled přední části panelu

Zadní strana ovládací skříně prošla proti původnímu konceptu jen minimálními změnami. Zůstalo zachováno původní rozdělení na čtyři panely. Levý, první, panel obsahuje otvor pro připojení USB kabelu ke kartě NI USB 6008. U vedlejšího, druhého panelu jsou použity čtyři původní pěti-pinové DIN konektory. Uvolněné pozice, po původní elektronice na DIN konektorech, umožnily například využití konektoru pro ovládání řídicího signálu pro brzdny moment. Na třetím panelu zůstaly zachovány pouze čtyř-pinové konektory M12 pro připojení snímačů PT100 na měření teploty. Tyto konektory jsou použity pouze dva s tím, že je zde prostor a v případě potřeby je možné přidání dalších. Čtvrtá část zadního panelu je osazena devíti pinovým konektorem Canon pro připojení siloměru HBM k zesilovači. V této části je také napájecí konektor se zabudovanou pojistkou proti přetížení.



Obr. 57 Výsledný vzhled zadní části panelu

Rozložení komponent v panelu je zobrazeno na obrázku níže. Z věcí, které ještě nebyly zmíněny, si můžete povšimnout popisů svorkovnic, které budou využity při stávajícím řešení a popisům jednotlivých připojovacích bodů karty. Tyto popisy jsou také umístěny na rozvodnou kabeláž pro snadnou orientaci v ní a pro snadnou rozebiratelnost a smontovatelnost při opravách. Rozložení jednotlivých komponent je voleno tak, aby byl maximální přístup do části s měřicí kartou a ke svorkovnicím. Ostatní kabeláž provedená mezi zdrojem a napájenými součástmi je umístěna v levé části panelu.



Obr. 58 Rozmístění komponent v panelu

5.3.2 Výroba součástí panelu pro ruční řízení

Výroba dílů pro řídicí panel probíhala převážně ve studentské dílně ÚK. Byly zde vyrobeny plechové díly použité jak pro pohledové díly, tak pro umístění svorkovnice v panelu. Další součástí je také plech pro uložení USB měřicí karty. Dále zde byla náležitě upravena DIN lišta, na kterou jsou umístěny napájecí zdroje ZSR-30.

Další důležitou částí výroby bylo vytvoření polepů pro čelní a zadní plechy, sloužící pro lepší orientaci mezi jednotlivými ovládacími, zobrazovacími

5.3.2

a připojovacími prvky. Dále byly vyrobeny polepky s popisy na plech pod svorkovnice a polepky na plech pod USB kartu.

Dalším bodem výroby bylo nadělení a pocínování rozvodových kabelů, čímž byla dokončena výroba potřebných součástí panelu a vše bylo připraveno na samotnou montáž.

5.3.3 Schéma zapojení komponent

V PŘÍLOZE 1-12 je zobrazeno schéma elektroinstalace, jež se nachází uvnitř panelu a schéma zapojení jednotlivých konektorů. Při zapojování elektroinstalace bylo dbáno na správné označování napájecích a zemnicích kabelů a pro bezpečnost byla také integrována pojistka přímo do konektoru síťového napájení.

5.3.4 Montáž jednotlivých součástí

Jako první byla provedena kompletní elektroinstalace. Elektroinstalace obnášela připojení jednotlivých kabelů k napájecímu zdroji dle schématu popisovaného v následující kapitole. Dále bylo provedeno propojení napájecích kabelů se spotřebiči, jako jsou displeje, zesilovač a převaděče. Následovalo rozvedení kabeláže do svorkovnice a příprava na připojení USB karty ke svorkovnici. Po kompletním rozvedení elektroinstalace následovalo finálové zabudování jednotlivých elektronických komponent do řídicího panelu. Panelové voltmetry byly přišroubovány k plechu na čelní straně panelu a následně pomocí tavné pistole byl přichycen také display otáček. Přichycení displeje otáček pomocí tavné pistole bylo zvoleno z důvodu snadné rozebíratelnosti provedeného přichycení. Následně byly na čelní plech přichyceny otočné přepínače. Přichycení bylo možné pomocí kroužků, které byly zašroubovány na závit přepínače. Uvnitř panelu byla pomocí šroubků přichycena DIN lišta a na ni byl umístěn zdroj napětí ZSR-30 a DC/DC měnič pro galvanické oddělení zemí. Následně byl pomocí stahovacích pásek přichycen zesilovač napětí snímače brzdného momentu. V panelu je zmiňovaný zesilovač umístěn v horní části. Následně byl pomocí stahovacích pásek uchycen převodník pro čidla PT100. Následovalo přichycení plechu pro svorkovnice, samotná montáž svorkovnic a jako poslední přišroubování plechu pro umístění USB karty. Na závěr bylo provedeno označení jednotlivých kabelů pomocí popisových štítků, pro snadnější orientaci v nich. Výsledný pohled na řídicí panel je na obrázcích níže.



Obr. 59 Zkompleťovaný ovládací panel



Obr. 60 Zkompletovaný ovládací panel

5.3.5 Pohled na finálovou koncepci stanice

Stanice pro testování převodovek obsahuje původní pohonnou jednotku, u které proběhly úpravy pro získání možnosti automatického řízení. Stanice dále zachovává původní dynamometr, jenž slouží pro zatěžování převodovek, a původní koncepci manuálního řízení stanice, jež je osazena v ovládacím panelu. Novými prvky stanice je podpůrný hardware pro automatické měření a řízení, který je umístěn uvnitř ovládacího panelu a dále také USB měřicí a řídicí karta, která je taktéž umístěna uvnitř panelu. Poslední novinkou stanice je možnost propojitelnosti PC s řídicím panelem, čím je dosaženo možnosti využití automatického vzdáleného řízení stanice pro testování převodovek. Na dodaném PC poté běží aplikace naprogramované v této diplomové práci, která vzdálené měření a zpětnovazební řízení obstarává.



Obr. 61 Stanice pro testování převodovek

6 DISKUSE

6.1 Zhodnocení vytvořeného řídicího systému

Otestování hardwaru a softwaru na stanici pro testování převodovek proběhlo úspěšně a celý software a hardware byl převzat a prohlášen za finální variantu řešení. Finálová varianta byla testována na správnou funkčnost programu, správně fungující snímání čidel, správné zpětnovazební řízení a na správné fungování integrovaných ochran.

6.2 Zhodnocení vytvořeného řídicího systému

Program je uživatelsky jednoduchý na ovládání a je vytvořen tak, aby všechny nastalé situace byly správně vyhodnoceny. Byl také zachován důraz na bezpečnost používání a cíle určující vlastnosti vytvořeného programu byly splněny. Jednotlivými cíli, jež byly plněny, byly vytvoření softwaru pro měření a řízení stanice tak, aby bylo měření možno provádět plně automaticky a do řízení byla integrována zpětnovazební smyčka. Dále byl umožněn záznam měřených dat a vzdálené řízení z PC. Původní panel pro ruční řízení byl aktualizován tak, aby zobrazovací prvky umožnily jednoduchou kontrolu provozních hodnot, hardware v panelu obsažený podpořil možnost vzdáleného řízení a řídicí karta byla z panelu snadno demontovatelná pro její využití pro jiné účely.

6.3 Finanční náročnost přestavby

Veškeré komponenty byly vybírány tak, aby byla přestavba elektroniky pro stanici na testování převodovek co nejméně finančně náročná. V tabulce níže je vidět celková finanční náročnost diplomové práce.

Tab. 8 Finanční náročnost na přestavbu stanice

Počet kusů	Název nakupovaného dílu	Cena s DPH [Kč]
1	Krabička pro převodník ZR100	42
1	Krabička pro zesilovač snímače momentu	40
2	Snímače teploty PT100	856
2	Čtyř-pinové konektory pro PT100	878
1	Display otáček CT14	1120
2	Panelový voltmetr HD-3129A	520
1	Napájecí zdroj ZSR-30	770
1	Din lišta	37
1	Převodník ZR100 pro čidla PT100	1125
	Spojovací materiál	55
	Ostatní elektro-materiál	1119
Celkové náklady		6562

7 ZÁVĚR

Stanice pro testování převodovek nyní umožňuje jak řízení manuální, které je převzato z původní koncepce řídicího panelu, tak řízení automatické, které přináší možnost zpětnovazebního řízení pohonné jednotky a dynamometru. Možnost plně automatického řízení je také vítána z důvodu, že uživatel již nemusí zpětně kontrolovat dodržování nastavených parametrů v průběhu testování převodovek, které se mění například zahřátím testovací stanice.

Řízení stanice může být nyní prováděno na řídicím panelu nebo pomocí PC, na kterém běží aplikace naprogramovaná v LabView. Hlavní výhodou použití aplikace na PC oproti řízení z panelu je ta, že aplikace má integrované zpětnovazební regulační smyčky řízení pohonné jednotky a dynamometru, což umožňuje přesně dodržovat požadované řídicí parametry. Regulační smyčky jsou integrovány do dvou typů řízení: manuální a automatické. Automatické řízení se provádí pomocí předem definovaných hodnot, které uživatel do aplikace dodá v TXT souboru. Řízení ze souboru je novou funkcí, jež umožňuje testování převodovek pomocí dlouhodobých testů s proměnnými řídicími parametry. Další funkcí aplikace je zaznamenávání měřených a řídicích dat, jež mohou sloužit k pozdějšímu post-processingu. Získaná data jsou na požadavek uživatele exportována do TXT souboru. Nedílnou součástí řídicí aplikace je také kalibrace jednotlivých čidel, ochrana proti přehřátí stanice a kontrola proti překročení řídicích hodnot pro předcházení poškození stanice.

Výhodou vytvořeného systému řízení je, že i po záměně převodovky je plně funkční zpětnovazební regulace. Řídicí aplikace je totiž schopna reagovat na změnu převodového poměru mezi pohonnou jednotkou a převodovkou, který může být po výměně převodovky požadován a pomocí záměny řemenic také dosažen. V aplikaci poté stačí zadat aktuální převodový poměr řemenic, čímž je dosaženo opětovné optimalizace zpětnovazebního řízení stanice.

Omezení celého systému jsou následovná: USB karta (při aktuální konfiguraci využitých vstupů, umožňuje měření otáček $0 - 12\,500 \text{ min}^{-1}$), displej zobrazující otáčky zobrazí hodnotu $30 - 9\,999 \text{ min}^{-1}$. Pro měření teplot je stanice omezena pouze čidly PT100, které měří minimální hodnotu $-50 \text{ }^{\circ}\text{C}$, kdy tato hodnota je symbolizována napětím -50 mV a maximální hodnotu $500 \text{ }^{\circ}\text{C}$, kdy hodnota napětí dosahuje $0,5 \text{ V}$. Omezení USB karty pro měření teploty a brzdného momentu je -10 až $+10 \text{ V}$. Omezení zobrazovacího displeje je v tomto případě 20 V což reprezentuje hodnotu 2000 Nm . Stanice je hardwarově schopna vyvinout brzdný moment na brzdě $0 - 500 \text{ Nm}$, pohonná jednotka je schopna dosáhnout otáček $0 - 1560 \text{ min}^{-1}$ a maximálního krouticího momentu 236 Nm . Výsledné parametry stanice jsou shrnuty v tabulce dále.

Tab. 9 Parametry testovací stanice

	Název veličiny	Hodnota
Pohonná jednotka	Otáčky	0 - 1560 [min ⁻¹]
	Krouticí moment	0 - 236 [Nm]
	Aktuální převodový poměr	1:3
Dynamometr	Otáčky	0 - 7 000 [min ⁻¹]
	Brzdny moment	0 - 500 [Nm]
Systémová omezení	Měřené otáčky	30 - 9 999 [min ⁻¹]
	Krouticí moment	-236 - +236 [Nm]
	Měření teploty	-200 - +200 [°C]

8 BIBLIOGRAFIE

- [1] HAVLIŠ, Hynek. Řízení brzdného stendu s vířivou brzdou. Odborné časopisy [online]. 2010, č. 5 [cit. 2012-06-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/41074.pdf>
- [2] NOVÁK, Jaroslav. Dynamometr na vířivé proudy a jeho regulace. Odborné časopisy [online]. 2002, č. 06 [cit. 2012-06-17]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=2505
- [3] HONSL, Lukáš. Ovládací software pro stanoviště válcového dynamometru [online]. Pardubice, 2010 [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10195/36390>. Bakalářská. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě.
- [4] LELEK, Tomáš. Měřicí ústředna k dynamometru s výstupem na sběrnici CAN [online]. Pardubice, 2011 [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10195/36390>. Bakalářská. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě.
- [5] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, KATEDRA VOZIDEL A MOTORŮ. Laboratorní semestrální práce [online]. 2012, 2 s. [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: http://www.kvm.tul.cz/studenti/texty/ZVM/Zadani_B.pdf
- [6] LAURIN, Josef a Josef BLAŽEK. Emission parameters of CNG bus engines [online]. 2006 [cit. 2012-06-17]. Dostupné z: <http://vladimir.fsik.cvut.cz/bozekdb/filestore/paper-laurin-blazek.pdf>
- [7] TŮMA, Jiří. Měření úhlových kmitů za rotace pro diagnostiku rotačních strojů [online]. 2012, 8 s. [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~tum52/publications/Tuma-DIAGO2012.pdf>
- [8] TŮMA, Jiří. Gear Transmission Error Measurements based on the Phase Demodulation [online]. 2007, 8 s. [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~tum52/publications/Tuma2003PlKraKow.pdf>
- [9] TŮMA, Jiří. Gearbox Noise and Vibration Prediction and Control [online]. 2009, 11 s. [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~tum52/publications/Tuma_IIV2009_Paper.pdf
- [10] Stanice pro testování převodovek Tatra [online]. 2005 [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: http://www.347.vsb.cz/old/veda-old/realizovane_experimenty/2003_zkouska_razem_jung/MVC-815S.JPG

- [11] HÖHN, Bern-Robert, Karsten STAHL, Jorgen SCHUDY, Thomas TOBIE a Bernd ZORNEK. FZG Rig-based Testing of Flank Load-Carrying Capacity Internal Gears. Gear technology magazine [online]. 2012 [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://www.geartechology.com/issues/0612x/hohn.pdf>
- [12] WEB REFINEMENTS. Test Stand for Manual Heavy Duty transmissions [online]. 2011 [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://www.testrigs.com/transmission-testing.html>
- [13] All electrical High Dynamic AWD transmission test cell. In: Saab Engineering Services [online]. 2011 [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://www.saabengineering.com/labs/transmission-lab/all-electrical-high-dynamic-awd-transmission-test-cell/>
- [14] TOYOTA MOTORSPORT. Total transmission testing [online]. 2013 [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://www.toyota-motorsport.com/en/services-en/advanced-component-testing-en/advanced-component-testing-en/21-english-categories/services/advanced-component-testing>
- [15] TOYOTA MOTORSPORT. Transmission Test System [online]. 2012, 7 s. [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: http://www.toyota-motorsport.com/media/tmg/TTS_Mini_Brochure_04.pdf
- [16] FORD GERMANY. FORD Gearbox Test Station [online]. 2008, 1 s. [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: http://www.toyo.co.jp/image/toyo/car/data/pdf_imcapp/AppNote07_Gear_box.PDF
- [17] GREABENER GROUP. Gearbox test rig for Porsche [online]. 2012, 16 s. [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://www.kleinknecht.de/cms/Media/Dokumente/1355445814503.pdf>
- [18] Regulátor (automatizace). In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Regul%C3%A1tor_\(automatizace\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Regul%C3%A1tor_(automatizace))
- [19] ŠVARC, Ivan. Základy automatizace [online]. 2002, 288 s. [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://web.tuke.sk/lf-klp/Ucitelia/Blazek%20Jozef/ZLK/ZakladyAutomatizace.pdf>
- [20] VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ. Počítačové řídicí systémy - Regulace [online]. 2007, 6 s. [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: http://moodle.vscht.cz/pluginfile.php/4514/mod_resource/content/0/PRS-reg_2.pdf
- [21] ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Teorie automatického řízení [online]. 2006 [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: http://tar.fs.cvut.cz/tar1/tar1_26.php

- [22] HOTSET. Regulace [online]. 2012, 11 s. [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: http://www.hotset.cz/uws_files/navody/pid_regulace_zaklady.pdf
- [23] HYNIOVÁ, Kateřina. Některé aspekty praktických realizací regulačních obvodů s PID regulátory [online]. 2007, 12 s. [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <https://moodle.dce.fel.cvut.cz/mod/resource/view.php?id=891>
- [24] HLAVA, Jaroslav. Skripta PAR [online]. 2000, 160 s. [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: http://www.fm.tul.cz/~jaroslav.hlava/par/Skripta_PAR.pdf
- [25] COSMOL. Example LABview diagram [online]. 2013 [cit. 2013-02-18]. Dostupné z: <http://www.computer-solutions.co.uk/gendev/can-software.htm>
- [26] NATIONAL INSTRUMENTS. CERN Uses NI LabVIEW Software and PXI Hardware to Control World's Largest Particle Accelerator [online]. 2008 [cit. 2013-02-18]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-10795>
- [27] Diskrétní regulátory - modifikace spojitých regulátorů. CAAC: Computer Aided Automatic Control [online]. -, 11. 6. 2007 [cit. 2013-02-18]. Dostupné z: http://195.178.89.122/CAAC_PHP/CAAC/cesky/synteza/
- [28] Analýza systémů. VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. Katedra automatizační techniky a řízení [online]. - [cit. 2013-02-18]. Dostupné z: http://www.352.vsb.cz/uc_texty/AutoRizMatlab/kap211.html
- [29] Syntéza regulačních obvodů. VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. Katedra automatizační techniky a řízení [online]. - [cit. 2013-02-18].
- [30] NATIONAL INSTRUMENTS [online] [cit. 2013-02-18]. Dostupné z: <http://czech.ni.com/>
- [31] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. Začínáme s LabVIEW. 1. vyd. Ilustrace Viktorie Vlachová. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 247 s. ISBN 978-80-7300-245-9
- [32] Nastavování PID regulátorů [online]. 2011 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: http://www.mti.tul.cz/files/par/Nastavovani_PID.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Seznam obrázků

Obr. 1 Schématické zobrazení stanice pro testování převodovek	13
Obr. 2 Stanice pro testování převodovek na ÚK	16
Obr. 3 Stanice pro ladění výkonu studentské formule [1]	16
Obr. 4 Stanice pro testování průběhu výkonu a krouticího výkonu [3]	18
Obr. 5 Stanice pro testování převodovek Tatra [10]	19
Obr. 6 Stanice pro testování planetových převodovek firmy FZG [11]	20
Obr. 7 Stanice pro testování převodovek od firmy BEPCO [12]	20
Obr. 8 Stanice pro testování pohonného ústrojí automobilky Saab [13]	21
Obr. 9 Testovací stanice automobilky Toyota [14]	22
Obr. 10 Stanice pro testování převodovek automobilky FORD [16]	23
Obr. 11 Testovací stanice dodaná automobilce Porsche [17]	24
Obr. 12 Schéma chování P regulátoru [20]	25
Obr. 13 Schéma chování PI regulátoru [20]	26
Obr. 14 Schéma chování PID regulátoru [20]	27
Obr. 15 Ukázka Wind-Up efektu [24]	28
Obr. 16 Aproximace přechodové charakteristiky proporcionální soustavy se setrvačností 1. řádu [28]	30
Obr. 17 Přechodová charakteristika s aperiodickým průběhem a s vyznačenou dobou náběhu a průtahu [28]	30
Obr. 18 Aproximace přechodové charakteristiky dvoubodovou metodou [28]	31
Obr. 19 Náčrt Zieglerovy-Nicholsovy metody [29]	33
Obr. 20 Blokové schéma LabView [25]	35
Obr. 21 NI USB 6008 [30]	36
Obr. 22 NI PXI [30]	37
Obr. 23 CompactRIO [30]	37
Obr. 24 Kontrolér [30]	38
Obr. 25 Základna FPGA [30]	38
Obr. 26 Vstupně výstupní moduly [30]	39
Obr. 27 Původní panel – přední část	40
Obr. 28 Původní panel – zadní část	40
Obr. 29 Rozvržení stanice pro testování převodovek	42
Obr. 30 Měřicí a řídicí řetězec	42
Obr. 31 Řídicí panel varianta 1.	43
Obr. 32 Řídicí panel varianta 2.	43
Obr. 33 Testovací stanice	46
Obr. 34 Vývojový diagram řídicího algoritmu	47
Obr. 35 Vyčtení požadovaných otáček	48
Obr. 36 Generování rampy hodnot otáček	48
Obr. 37 Řízení otáček a momentu	49
Obr. 38 Vyčítání hodnot z karty	50
Obr. 39 Zpětnovazebná regulace – řízení otáček	51
Obr. 40 Zpětnovazebná regulace – řízení brzdného momentu	51
Obr. 41 Zápis hodnot na kartu	52
Obr. 42 Vypnutí aplikace	53
Obr. 43 Ovládací panel	54

Obr. 44 Automatické řízení stanice	55
Obr. 45 Záznam dat do pole hodnot	56
Obr. 46 Uložení pole hodnot do TXT souboru	56
Obr. 47 Převodník ZR100	58
Obr. 48 Schematická kalibrace teplotních čidel	58
Obr. 49 Schematická kalibrace tenzometrického čidla HBM S9	59
Obr. 50 Pohled na výslednou koncepci funkce čidla otáček na dynamometru	61
Obr. 51 Pohled na výslednou koncepci funkce čidla otáček na převodovce	62
Obr. 52 Původní návrh panelu pro ruční řízení	63
Obr. 53 Panelový voltmetr HD-3129A	63
Obr. 54 Otáčkoměr CT14	64
Obr. 55 Napájecí zdroj ZSR-30	64
Obr. 56 Výsledný vzhled přední části panelu	66
Obr. 57 Výsledný vzhled zadní části panelu	68
Obr. 58 Rozmístění komponent v panelu	69
Obr. 59 Zkompletovaný ovládací panel	71
Obr. 60 Zkompletovaný ovládací panel	72
Obr. 61 Stanice pro tetování převodovek	73

Seznam Grafů

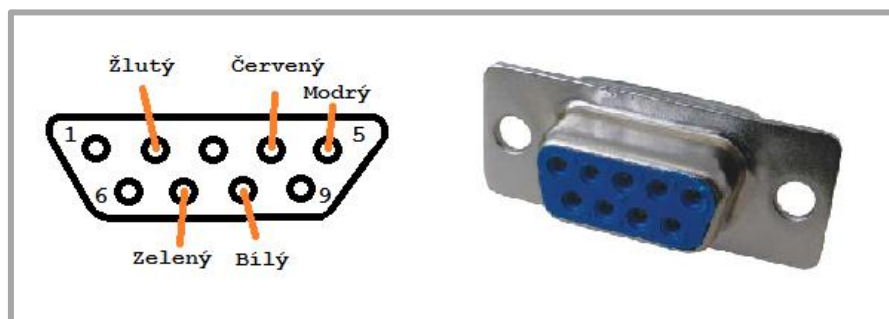
Graf 1 Kalibrace teplotních čidel	59
Graf 2 Kalibrace čidla brzdného momentu	60

SEZNAM TABULEK

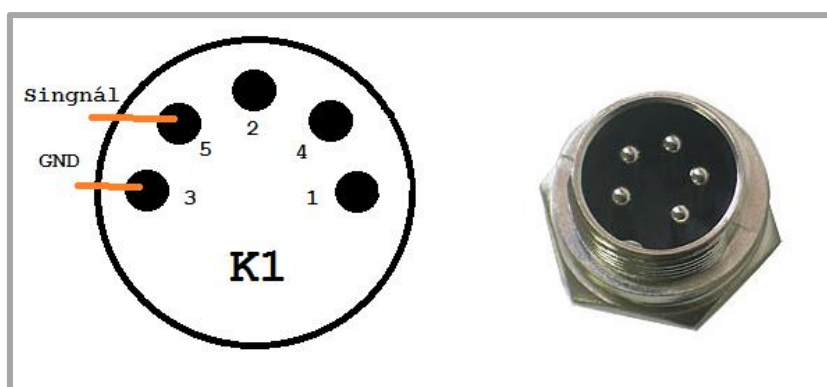
Tab. 1 Optimální seřízení regulátorů podle Metody kritického zesílení [32]	28
Tab. 2 Rovnice pro určení konstant regulátorů - Ziegler-Nicholsova metoda	33
Tab. 3 Optimální seřízení regulátorů podle kritéria optimálního modulu.	34
Tab. 4 Porovnání parametrů hardware od National Instruments	39
Tab. 5 Tabulka porovnání cen řídicího hardware	44
Tab. 6 Připojení kabeláže ke kartě a řídicí hodnoty programu	57
Tab. 7 Napájení součástek	65
Tab. 8 Finanční náročnost na přestavbu stanice	74
Tab. 9 Parametry testovací stanice	76

PŘÍLOHY

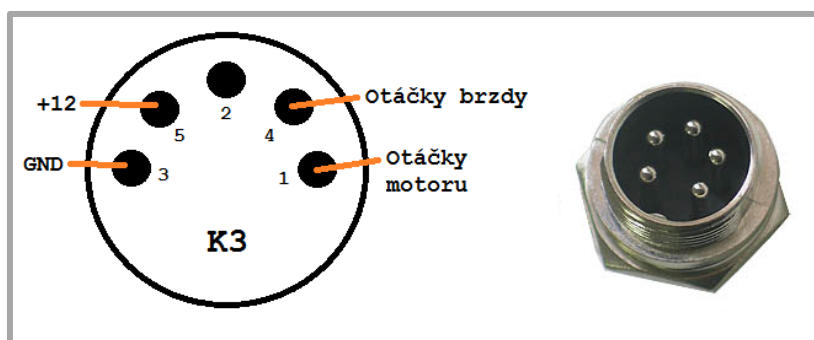
Příloha 1. – CANNON konektor na panelu



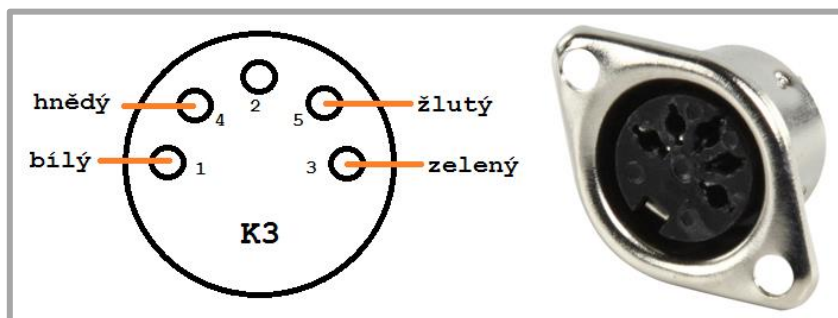
Příloha 2. – K1 konektor na panelu



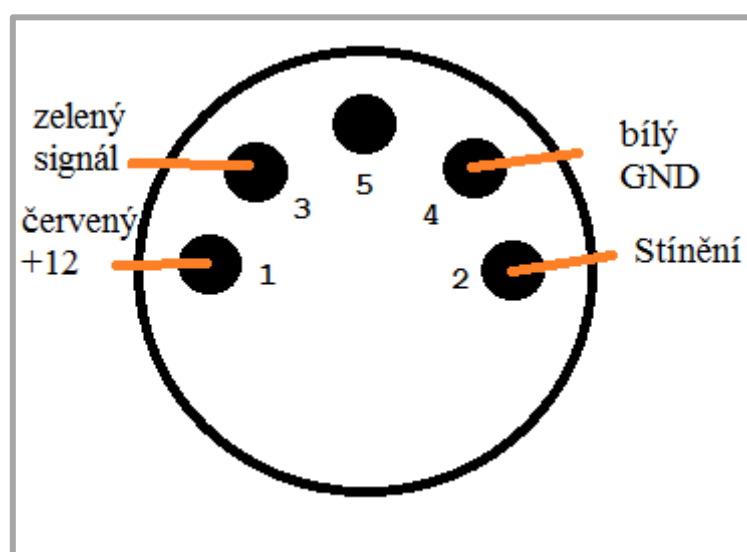
Příloha 3. – K3 konektor na panelu



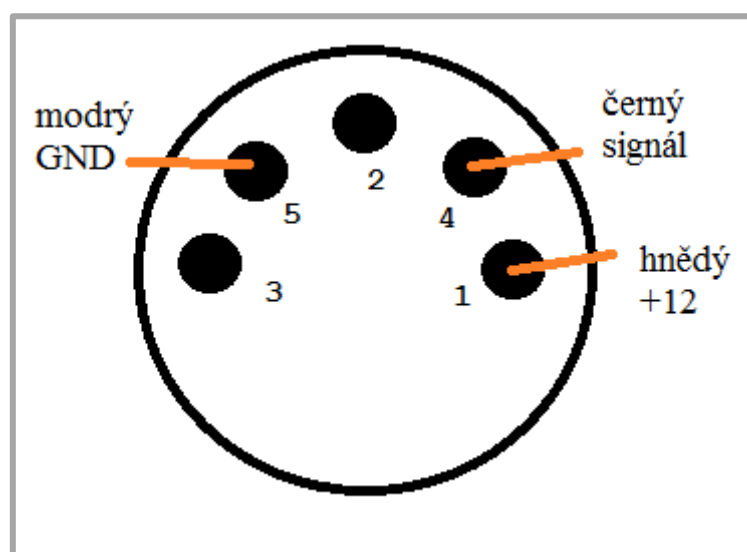
Příloha 4. – K3 konektor na kabelu



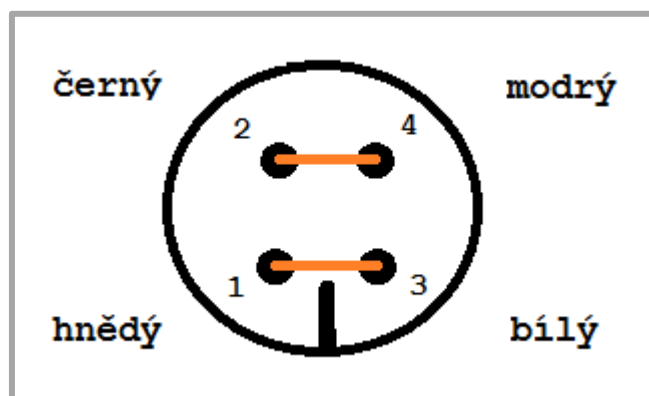
Příloha 5. – MIG konektor



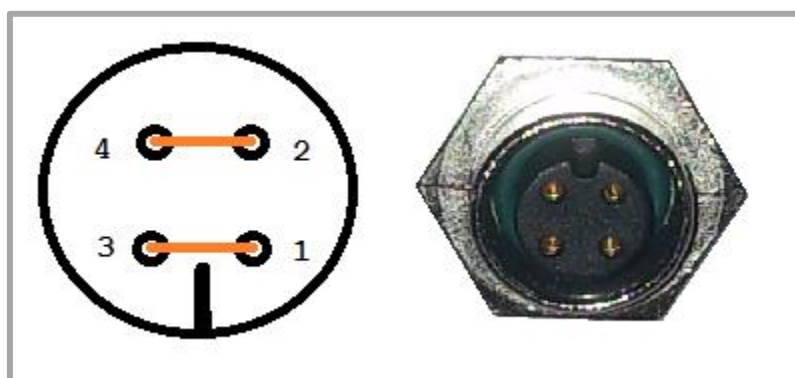
Příloha 6. – MINI-DIN konektor



Příloha 7. – PT100 konektor na kabelu



Příloha 8. – PT100 konektor na panelu



Příloha 9. – Svorkovnice v panelu

Číslo svorky	Název veličiny	Polarita
1	Otáčky 1	+
2		-
3	Otáčky 2	+
4		-
5	Teplota 1	+
6		-
7	Teplota 2	+
8		-
9	Moment - snímač	+
10		-
11	Moment - řízení	+
12		-

Příloha 10. – Svorkovnice na dynamometru

	Číslo svorky	Polarita	Barva kabelu
Snímač ot. – převodovka	73	+	Červený
	74	GND	Bílý
	81	Signál	Zelený
Snímač ot. - brzda	73	+	Hnědý
	74	GND	Modrý
	80	Signál	Černý

Příloha 11. – Připojení kabeláže ke kartě NI USB 6008

	Název veličiny	Zapojení	Typ
Výstupy	ovládání motoru	ao0+ (14) GND (13)	RSE
	brzdňý moment	ao1+ (15) GND (16)	RSE
Vstupy	otáčky na brzdě	ai0+ (2) GND (1)	RSE
	teplota 1	ai1+ (5)	RSE
	teplota 2	ai2+ (8)	RSE
	brzdňý moment	ai3+ (11) GND (10)	RSE
	otáčky na motoru	PFIO+ (29) GND (32)	CountEdges

Příloha 12. – Elektrické schéma stanice

